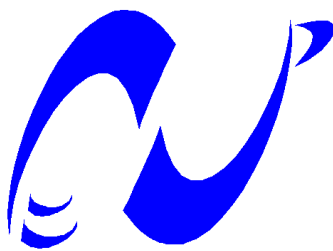


République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Supérieure Polytechnique

Département de Génie de l'Environnement

Mémoire du projet de fin d'études d'ingénieur

Présenté par : Mlle Amel FERDI

Thème

**Diagnostic concernant la possibilité de valorisation des sous
produits d'épuration : Cas de la STEP de Réghaia**

Soutenu le 27/06/2010 devant le jury composé de :

Président : Mme ZEBOU DJ Maître de Conférence ENP

Examineur: Mr. BENZIADA Maître Assistant ENP

Promoteur: Mr. NAKIB Maître Assistant ENP

ملخص:

يتلخص عملنا في تشخيص المنتجات وإمكانية تثمين منتجات التنقية لمحطة رغاية; هما مياه الصرف و حماة الصرف الصحي , بعد التأهيل و مقارنة خصائص المنتجات مع تلك من مياه الري وحماة المجاري.

كلمات الرئيسية : تثمين ,مياه الصرف , حماة المجاري, محطة تنقية المياه

Résumé :

Notre travail consiste à diagnostiquer et la possibilité de valorisation des produits d'épuration de la station de Réghaia qui sont : les eaux épurées et les boues d'épuration, après la réhabilitation de la station, et de comparer leurs propriétés avec les eaux d'irrigation en agriculture et les boues d'épandage dans le même domaine.

Mots clé : valorisation, eaux épurées, boues d'épandage, eaux d'irrigation, STEP

Abstract :

Our object is to make a diagnostic and the possibility of the valorization of purification products to the station of Réghaia, which are the treated wastewater and sewage sludge, after rehabilitation, and compare their properties with those of irrigation water and spreading sludge in agriculture.

Key words: valorization, treated water, sewage sludge, irrigation water, STEP

Remerciement :

Je tiens à remercier en premier lieu, Mr NAKIB, mon promoteur, pour son aide et ses précieux conseils au cours de la réalisation de ce mémoire et l'intérêt qu'il a toujours témoigné à l'égard de mon travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma gratitude.

Mes remerciements vont également aux membres du jury pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.

Mes remerciements vont aussi à Mr le Directeur de la station d'épuration des eaux usées de Réghaia qui m'a autorisé à accéder à la station et à toutes les installations et les information qui m'ont permis d'accomplir mon travail dans des conditions optimales. Je tiens également à remercier les ingénieurs, pour leur disponibilité à tout moment, particulièrement Mme HAMIDI (Ingénieur chimiste) et Mr Kamel (Ingénieur en environnement) dont l'aide m'a été précieuse.

Mes plus chaleureux remerciement à toutes celles et ceux qui m'ont donné de leur temps, m'ont fait profiter de leur savoir et éclairer de leurs conseils pour l'accomplissement de ce travail et tous au long de mon cursus au sein du département Génie de l'Environnement et de l'Ecole Nationale Polytechnique.

Je remercie tous mes amies, qui se reconnaitrons, pour leur soutient morale et leur aptitude à me rendre le sourie.

Et enfin, j'adresse mon immense gratitude à mes très chers parents et ma sœur qui m'ont toujours soutenue, encouragée, guidée et aimée, sans qui je ne serais pas là où j'en suis aujourd'hui.

Sommaire

<i>Listes des figures :</i>	7
<i>Introduction</i>	10
<i>Chapitre I : Pollution des Eaux et Mécanismes de Traitement de ces Eaux</i>	14
1. <i>Pollution des eaux :</i>	14
2. <i>Qualité des eaux usées :</i>	14
3. <i>Traitements des eaux usées :</i>	15
1. <i>Traitement primaire :</i>	15
1.1 <i>les prétraitements :</i>	15
1.2 <i>La décantation primaire :</i>	16
2. <i>Traitement secondaire :</i>	17
2.1 <i>Traitement biologique :</i>	17
2.1.1 <i>L'épuration biologique à boues activées :</i>	18
2.1.2 <i>Le lagunage :</i>	20
2.1.3 <i>Les lits bactériens :</i>	22
2.1.4 <i>L'élimination de l'azote : (Nitrification- Dénitrification)</i>	23
2.2 <i>Traitement physico-chimique :</i>	24
<i>Dé phosphatation</i>	25
3. <i>Traitement tertiaire</i>	26
<i>Traitement bactériologique par rayonnement UV</i>	26
<i>Traitement par voie physico-chimique</i>	27
<i>Chapitre II : Réutilisation des Eaux Usées Epurées</i>	28
1. <i>Les domaines d'application de réutilisation des eaux usées épurées</i>	28
2. <i>Caractéristiques de l'eau d'irrigation :</i>	28
3. <i>Risques liés à l'utilisation des eaux usées épurées dans l'agriculture :</i>	32
3.1. <i>Les risques microbiologiques :</i>	32
3.2. <i>Les risques chimiques :</i>	33
3.3. <i>Le stockage de l'eau :</i>	36
4. <i>Réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation en Algérie :</i>	36
4.1. <i>La situation actuelle de l'Algérie en matière d'eau :</i>	36
4.2. <i>Projet dans le cadre de la réutilisation des eaux usées épurées :</i>	37
<i>Chapitre III : Traitement et valorisation des boues d'épuration</i>	39
1. <i>Les différentes boues d'épuration issues des traitements des eaux usées :</i>	39
1.1 <i>Définition :</i>	39
1.2 <i>Types de boues :</i>	39
1.3 <i>Caractéristiques</i>	40
2. <i>Les divers procédés de traitement des boues :</i>	41

2.1	<i>La stabilisation :</i>	41
2.2	<i>Réduction de la teneur en eau des boues :</i>	42
3.	<i>La valorisation des boues d'épuration :</i>	44
3.1.	<i>Les voies de valorisation :</i>	45
3.2.	<i>L'épandage agricole :</i>	45
3.3.	<i>Les avantages d'un épandage organique sur les terres agricoles par des boues d'épurations :</i>	46
4.	<i>Les contraintes limitant l'utilisation des boues en agriculture :</i>	48
4.1.	<i>Le risque des métaux lourds :</i>	48
4.2.	<i>Les polluants organiques :</i>	49
4.3.	<i>Les agents pathogènes :</i>	50
Chapitre IV : Présentation de la station d'épuration de Réghaia		51
1.	<i>Site réservé à la station :</i>	51
2.	<i>Présentation de la STEP :</i>	51
2.1.	<i>Caractéristiques :</i>	51
2.2.	<i>Ouvrages du traitement :</i>	52
3.	<i>Situation actuelle de la STEP :</i>	53
4.	<i>Description des installations de la STEP</i>	54
1.	<i>Le bassin d'orage :</i>	54
2.	<i>Dégrillage :</i>	54
3.	<i>Dessablage-déshuilage :</i>	55
4.	<i>Décantation primaire :</i>	56
5.	<i>Bassins d'aération :</i>	57
6.	<i>Décanteurs secondaire :</i>	60
7.	<i>Filtration sur sable :</i>	61
8.	<i>Traitement des boues :</i>	63
<i>Conclusion :</i>		65
Chapitre V : Résultats et Interprétations		66
<i>Avant réhabilitation :</i>		66
A.	<i>Les eaux épurées :</i>	66
1.	<i>Les débits :</i>	66
2.	<i>La température :</i>	67
3.	<i>Le pH :</i>	67
4.	<i>La Demande Biochimique en Oxygène :</i>	67
5.	<i>La Demande Chimique en Oxygène :</i>	68
6.	<i>Les Matières En Suspension :</i>	69
B.	<i>Les boues d'épuration :</i>	70
<i>Après réhabilitation :</i>		70

<i>1. Les eaux épurées :</i>	<i>70</i>
<i>1.1. Les débits entrants et sortants :</i>	<i>70</i>
<i>1.2. Les paramètres physico-chimiques :</i>	<i>70</i>
<i>1.3. Les paramètres organiques :</i>	<i>75</i>
<i>1.4. Les matières azotées :</i>	<i>78</i>
<i>1.5. Phosphore total :</i>	<i>80</i>
<i>1.6. Les analyses bactériologiques :</i>	<i>81</i>
<i>Comparaison entre les résultats de l'épuration avant et après la réhabilitation :</i>	<i>82</i>
<i>Conclusion :</i>	<i>84</i>
<i>2. Les boues d'épuration :</i>	<i>84</i>
<i>Conclusion :</i>	<i>89</i>
<i>Chapitre VI : Conclusion générales et recommandations</i>	<i>90</i>

Listes des figures :

Figure 1 : Schéma représentant l'épuration biologique à boues activées

Figure 2: Schéma descriptif du procédé de lagunage

Figure 3: Schéma représentatif du système des lits bactériens

Figure 4: Le compostage

Figure 5: Epaissement des boues par floculation

Figure 6: La technique des lits de séchage

Figure 7 : Dégrilleurs

Figure 8 : Dessableur-déshuileur

Figure 9 : Décanteur primaires de la STEP de Réghaia

Figure 10 : Bassin d'aération

Figure 11: Clarificateur

Figure 12 : filtre à sable

Figure 13 : Epaisseur

Figure 14 : Centrifugeuse pour la déshydratation des boues

Liste des graphes

Avant la réhabilitation

Graphe 1 : Evolution du débit

Graphe 2 : Les valeurs de la DBO5 à l'entrée et à la sortie de la STEP

Graphe 3 : La DCO à l'entrée et à la sortie de la STEP

Graphe 4 : Les MES à l'entrée et à la sortie de la STEP

Après réhabilitation

Graphe 5 : Les débits moyens des eaux entrant dans la STEP

Graphe 6 : Illustration des fluctuations du pH des eaux d'entrée et de sortie de la STEP

Graphe 7 : Evolution de la conductivité électrique de l'eau d'entrée et de sortie de la STEP

Graphe 8 : Evolution et différence entre les eaux d'entrée et de sortie pour la DBO5

Graphe 9 : Evolution et différence entre les eaux d'entrée et de sortie pour la DCO

Graphe 10 : Evolution et différence entre les eaux d'entrée et de sortie pour les MES

Graphe 11 : Concentration d'entrée et de sortie de l'azote Kjeldhal

Graphe 12 : Evolution de la moyenne de l'azote général

Graphe 13 : Elimination du phosphore

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées.

Tableau 2 : Les parasites pathogènes dans les eaux usées

Tableau 3 : Concentration moyenne en ETM dans les boues d'épuration

Tableau 4 : Concentration moyenne en polluants organiques

Tableau 5 : Caractéristiques des eaux d'entrée

Tableau 6 : Caractéristiques des eaux de sortie

Tableau 7 : Tableau récapitulatif des pH de l'eau brute et de l'eau traitée tout au long de l'exploitation de la station après sa réhabilitation.

Tableau 8 : Récapitulatif des températures

Tableau 9 : La méthode de calcul de la minéralisation

Tableau 10 : Paramètres de comparaison

Tableau 11 : Résultats des analyses des boues

Tableau12 : Concentration moyenne en éléments traces métallique des boues d'épuration

Tableau 13 : concentration en oligo-éléments

Tableau 14 : Comparaison des caractéristiques essentielles des boues résiduaire urbaines à celle du fumier de ferme et du compost urbain (mg/l)

Listes des abréviations

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

DBO : Demande Biochimique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

MO : Matière Organique

PAOS : Phosphorous Accumilating Organisms

EBPR : Enhanced Biological Phosphorous Removal

FISH: Fluorescence In Situ Hybridization

UV: Ultra-violet

MDT: Matières Dissoutes Totales

SAR : Sodium Absorption Ratio , (Taux d'absorption de sodium)

ppm : partie par million

MRE : Ministère des Ressources en Eau d'Algérie

UFC : Unité Formant une Colonie

STEP : Station d'Épuration des eaux usées

MVS : Matières Volatiles Sèches

MS : Matières Sèches

MOS : Matières Organiques du Sol

ETM : Eléments Traces Métalliques

Pt : Phosphore total

NTK : azote Kjeldhal

NGL : azote global

DHW : Direction de l'Hydraulique de la Wilaya d'Alger

SEAAL : Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger

FAO : Food Agriculture Organisation (Organisation Mondiale de l'Alimentation et de l'Agriculture).

CE : Conductivité Electrique

EB : Eaux Brutes

EE : Eaux Epurées

OIE : Organisation mondiale de la santé animale

SNVI : société nationale des véhicules industrielles

Introduction

L'eau est un bien vital, indispensable à tous être vivant. Elle est présente dans tous organismes vivants, peuple plus de 70% de la surface de la terre et est utilisée dans de multiples activités humaines (énergétiques, industrielles, domestiques, agricoles, etc.).

Les activités humaines, en constantes développement technologique, consomment de plus en plus d'eau, réduisant considérablement les disponibilités en eau douce pour la survie des êtres humains. Une surexploitation accrue des ressources hydriques, qui lèse les pays les plus pauvres

Si la surexploitation des ressources en eau se poursuit au taux actuel, on estime que la moitié voir les deux tiers de l'humanité devraient être en situation de stress hydrique en 2025. Ce seuil d'alerte correspondant à moins de 1700 m³ d'eau douce disponible par habitant et par an (< 5 litres/jour). [1]

Les eaux usées rejetées, d'origine industrielle, urbaine, agricole ou provenant de toutes autres activités, représentent une pollution pour le milieu naturel. Dans une logique de protection de l'environnement et des ressources hydriques naturelles, les procédés de traitement et de recyclage des eaux usées figurent parmi les innovations les plus intéressantes et les plus avantageuses du XX^e siècle.

Les procédés et techniques de traitement des eaux usées sont variés et adaptés à plusieurs types d'eau et de régions. Cette solution représente un vari élan pour le développement durable, et la maîtrise de ces rejets domestiques et urbains.

Les eaux usées épurées peuvent être considérées comme une source en eau non négligeable pour être réutilisées par l'homme dans divers domaines (l'irrigation, industriel, urbain).

Elles peuvent constituer et en même temps une solution pour diminuer l'exploitation intensive des ressources limitées et mal réparties de la terre et par conséquent, protéger les cours d'eau, les plans d'eau, voire les eaux souterraines...

L'Algérie n'est encore qu'au début d'exploitation de ce type d'activité de traitement des eaux usées, mais en plein expansion avec la construction de plusieurs stations de traitement des eaux usées à travers le pays et l'élaboration d'une stratégie sur l'utilisation des

eaux épurées dans l'agriculture et à la préservation des ressources hydriques superficielles et souterraines.

Malgré une théorie des plus audacieuse, la réutilisation des eaux usées épurées dans l'agriculture doit être soumise à des critères et des normes dictés par les institutions internationales de la santé mondiale(OMS).

Tous comme les eaux , les boues issues de l'épuration représentent également une opportunité dans le milieu agricole, comme apport en amendement organique, mais cette utilisation étant conditionnée par une législation spécifique.

Dans ce contexte une étude analytique et comparative des différentes données existantes, a été menée pour le cas de la station de Réghaia :

Une étude de la réhabilitation de la station en vue de la réutilisation des sous produits d'épuration dans l'agriculture.

A cet effet le présent travail comportera six chapitres.

Chapitre 1 : La pollution des eaux et les différents procédés de traitement de cette pollution.

Chapitre 2 : La réutilisation des eaux usées épurées.

Chapitre 3 : Le traitement et la valorisation des boues d'épuration.

Chapitre 4 : Présentation et description de la station d'épuration des eaux usées de Réghaia.

Chapitres 5: Exposé des résultats d'analyse des eaux et des boues : mise en avant des améliorations apportées par la réhabilitation de la station d'épuration.

Chapitre 6 : Conclusion générale et recommandations.

Chapitre I : Pollution des Eaux et Mécanismes de Traitement des Eaux

L'épuration des eaux usées ne relève plus d'un luxe mais d'une nécessité. Nécessité, à garder les milieux naturels sains et épurés, et à la préservation des ressources hydriques naturelles de la pollution qui les menace quotidiennement.

De ce fait, les mécanismes et processus d'épuration des eaux se sont multipliés s'adaptant à des situations particulières, des régions spécifiques et des types de pollution.

Les principales parties des mécanismes d'épuration sont orientées en deux grandes catégories, dépendant du type de pollution, les processus biologiques et les processus physico-chimiques.

1. Pollution des eaux :

La pollution des eaux est définie comme toute perturbation qui altère, dénature ou change les caractéristiques naturelles des eaux. L'intrusion de la pollution rend l'eau inutilisable pour les activités humaines qui requièrent un contact direct avec l'homme.

Cette pollution se manifeste sous différents aspects ; physique, chimique ou biologique, dépendant des différentes substances présentes dans l'eau.

La pollution physique ; qui se manifeste par la turbidité de l'eau et des matières en suspension visibles à l'œil nu. Malgré sa présence évidente, cette pollution n'en reste pas moins la plus nocive.

La pollution chimique ; représentée par des éléments qui ne sont pas toujours visibles à l'œil nu et peuvent représenter une contamination très nocive pour tout être vivant.

La pollution biologique : apportée généralement par l'activité humaine, les microorganismes, virus et autres bactéries, sont les plus courants et leur ingestion ou absorption par tout être vivant peut provoquer des maladies.

2. Qualité des eaux usées :

- Les eaux domestiques : provenant des habitations (cuisine, salle de bain, toilettes, ..) contiennent essentiellement une pollution organique dégradable et minérale (graisse, détergent, solvant, bactéries ...) sous forme de matières dissoutes ou en suspension.

- Les eaux industrielles : qui proviennent des usines présentes dans la commune. Leur composition dépend du type d'industrie, elle peut être minérale, organique ou toxique. Il est préférable d'effectuer un traitement préalable de ces eaux, en usine, pour ensuite les relier aux réseaux des eaux domestiques si la qualité des eaux ne correspond pas au traitement préconisé par la station réceptrice. [2]
- Les eaux pluviales : ce sont des eaux de pluie qui ruissellent sur le sol en emportant toute la pollution du sol (huiles, hydrocarbures, plomb, etc.). Les eaux de ruissellement peuvent être particulièrement polluées, surtout en début de pluie, en raison du lessivage des sols, des surfaces imperméabilisées, ou bien lors de la remise en suspension des dépôts des collecteurs,... [2]

3. Traitements des eaux usées :

Les eaux usées représentent une grande partie des eaux de la planète ; qu'elles soient d'origine urbaine, industrielle ou agricole, ces eaux doivent être traitées en raison de la gêne occasionnée par ces dernières (pollution des nappes phréatiques, pollutions des eaux de mer, etc.)

Le processus et les systèmes de traitement des eaux usées :

1. Traitement primaire :

Le traitement primaire repose sur des méthodes et procédés physiques, il est réalisé en deux parties ; les prétraitements et la décantation primaire, leur but principal est de réduire le maximum de pollution pour faciliter et soulager le processus biologique ou physico-chimique du traitement secondaire.

1.1 les prétraitements :

1.1.1 Le dégrillage (grossier et fin) : son but est l'élimination des déchets solides insolubles de dimension plus ou moins importante (bouteille plastique, bouchon plastique, feuillages, branches, etc.) le principe est de faire passer l'eau usée à travers une ou plusieurs grilles dont les mailles sont de plus en plus serrées (espacement entre maille de l'ordre du centimètre). Celles-ci sont en général équipées de systèmes automatiques de nettoyage pour éviter leur colmatage, et aussi pour éviter le dysfonctionnement de la pompe (dans les cas où il y aurait un système de pompage).

1.1.2 Le dessablage : il permet de retirer les sables présents dans les eaux usées. Le sable, s'il n'était pas enlevé, se déposerait plus loin, gênant le fonctionnement de la station et provoquant une usure plus rapide des éléments mécaniques comme les pompes. Les sables extraits peuvent être lavés avant d'être mis en décharge, afin de limiter le pourcentage de matières organiques. L'enlèvement des sables se fait généralement par voie gravitaire (décantation).

1.1.3 Dégraissage-Déshuilage : l'élimination des huiles et graisses se fait le plus souvent par le principe de flottation. La flottation est un procédé où l'on injecte de fines bulles d'air dans le bassin de déshuilage, permettant de faire remonter rapidement les graisses en surface (les graisses sont hydrophobes et il ya une différence de densité entre l'eau et les huiles). Leur élimination se fait ensuite par raclage au niveau de la surface.

Il est important de limiter au maximum la quantité de graisse dans les ouvrages en aval pour éviter d'éventuels problèmes dans les ouvrages suivants pouvant engendrer un encrassement des canalisations. Leur élimination est essentielle également pour limiter les problèmes de rejets de particules graisseuses, les difficultés de décantation ou les perturbations des échanges gazeux.

Remarque :

Généralement les deux opérations de dessablage et déshuilage se font dans un même bassin pour une économie d'argent et d'espace. Les sables décantent au fond de celui-ci tandis que les graisses remontent en surface.

1.2 La décantation primaire :

La décantation primaire vise à réduire la charge de la pollution et à supprimer la majeure partie des matières en suspension.

L'opération est réalisée dans des bassins de décantation dont la taille dépend du type d'installation et du volume d'eau à traiter. De la même manière, le temps de séjour des effluents dans ce bassin dépend de la quantité de matières à éliminer et de la capacité de l'installation.

L'opération doit être surveillée pour éviter les dysfonctionnements du système et pour ce l'indice de Mohlman représente un indicateur efficace de la bonne décantabilité des matières en suspension. Son calcul se fait quotidiennement.

Le traitement primaire n'est pas toujours présent dans stations d'épuration, il dépendant de la charge de la pollution à traiter, mais lorsqu'il est présent, il permet un abattement de la pollution organique important ; environ 30% de la demande biochimique en oxygène (DBO) et 30% de la demande chimique en oxygène (DCO).

Cette part de DBO supprimée était induite par les matières en suspension. La charge organique restant à traiter est allégée d'autant.

Les matières décantées forment au fond du décanteur un amas qui représente les boues primaires.

2. Traitement secondaire :

Dépendant de la nature de ces eaux usées, plusieurs traitements sont accessibles et donnent des rendements très encourageants. On identifie deux principaux types de traitement des eaux usées : le traitement biologique et le traitement physico-chimique.

2.1 Traitement biologique :

Les procédés d'épuration biologiques, utilisés en seconde partie du traitement des eaux usées urbaines et industrielles, fonctionnent sur le principe de l'activité microbienne dans l'eau.

En effet les micro-organismes dégradent les matières organiques présentes dans l'eau (le plus souvent les composés carbonés présents sous formes solubles tels que sucres, graisses ou protéines). [3]

Les micro-organismes hétérotrophes, qui utilisent la matière organique comme source de carbone et d'énergie, ont une double action :

- Elimination d'une partie des matières organiques sous forme gazeuse lors de la minéralisation du carbone avec production de CO_2 dans les procédés aérobies et de biogaz ($\text{CO}_2 + \text{CH}_4$) dans les procédés anaérobies,

- Transformation de la seconde partie en substrat pour la multiplication bactérienne. Ces particules peuvent être facilement séparées de la phase liquide par des moyens physico-chimiques ou biologiques.
- En plus de la pollution carbonée, le processus biologique peut également transformer la pollution azotée (nitrification) et la pollution phosphatée (déphosphatation). [4]

Les différents procédés utilisés peuvent être classés en fonction des conditions d'aération et de mise en œuvre des micro-organismes. Ainsi, on distingue :

- les procédés aérobies à cultures libres ou boues activées,
- les procédés aérobies à cultures fixées,
- les procédés anaérobies à cultures libres,
- les procédés anaérobies à cultures fixées.

Différents processus biologiques existent parmi ces derniers :

1. Le procédé à boue activée : c'est un procédé aérobie se basant sur la multitude de microorganismes et leur mobilité (culture libre). L'oxygène permet à la fois d'activer le travail des bactéries responsables de la destruction de la matière organique (pollution) et favoriser leur multiplication.
2. Le lit bactérien : procédé aérobie, les bactéries sont placées sur un support fixe et l'eau circule à travers ce lit.
3. Le lagunage.

2.1.1 L'épuration biologique à boues activées :

C'est un traitement biologique de type aérobie. Les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau. Si l'âge des boues est suffisamment élevé, les bactéries provoquent aussi une oxydation directe de l'ammonium dissous qui est donc transformé en nitrate.

La dégradation aérobie est un phénomène complexe générateur de l'énergie nécessaire au métabolisme bactérien

Réacteur biologique : La réaction d'oxydation des matières polluantes se fait dans un bassin d'aération appelé réacteur biologique. La zone de contact se fait à l'amont et le principe de fonctionnement est un mélange des boues (recirculation) et de l'effluent à traiter dans une zone de faible volume.

Le bassin est équipé d'un dispositif de brassage et d'oxygénation permettant :

- D'introduire une quantité d'oxygène déterminée (contrôlée) nécessaire à la satisfaction des besoins correspondant à l'oxydation de la pollution organique.
- Assurer l'homogénéité et éviter les dépôts.

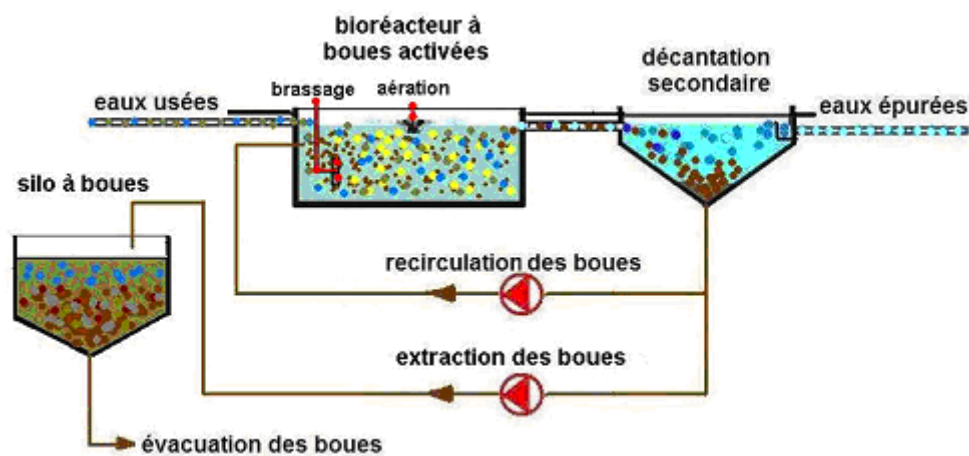


Figure 1 : schéma représentant l'épuration biologique à boues activées

Action des micro-organismes

Les micro-organismes présents dans le bassin d'aération sont, en grande majorité, des micro-organismes hétérotrophes qui dégradent la matière organique. Leur métabolisme étant aérobic. Les micro-organismes sont maintenus en mélange intime avec l'eau à traiter et ainsi, entrent constamment en contact avec les polluants organiques des eaux résiduaires.

Les exo polymères sécrétés par les microorganismes permettent l'agglomération de floccs décantables. Afin de maintenir une biomasse bactérienne suffisante, la boue est recyclée par pompage dans le bassin de décantation secondaire (la boue extraite est recirculée vers le bassin de traitement aérobic). Une part du travail de gestion et de dimensionnement d'un système à boues activées consiste à gérer cette biomasse. [3]

Avantage :

- Réduction du temps de séjour de la pollution ainsi que les surfaces de terrains utilisées
- Avantage d'une recirculation de la culture bactérienne ce qui conduit à un enrichissement du bassin par les micro-organismes.
- Rendement de la méthode très appréciable surtout pour les eaux résiduaires urbaines [5]

Inconvénient :

- Installation coûteuses (équipement ; béton, ouvrages métalliques, appareillage électronique, etc.)
- Exigence d'un personnel qualifié et vigilance permanente. [5]

2.1.2 Le lagunage :

L'épuration biologique par lagunage s'inspire du processus de déseutrophisation. Considéré comme un système d'épuration naturel, les lagunes (bassins naturel) accueillent les eaux usées et les filtrent par les micro-organismes, algues et plantes aquatiques, c'est une technique peu coûteuse et qui ne consomme que peu d'énergie mais, néanmoins, des contraintes liées à la perméabilité du sol sont à prendre en considération.

La technique repose sur l'établissement d'un écoulement lent gravitaire des eaux usées dans plusieurs bassins de rétention ; ce qui élimine le risque d'infiltration dans les eaux souterraines. [4]

Les premiers bassins sont des bassins à micro-organisme (microphytes), où est dégradée la matière organique (MO) contenue dans les eaux usées. L'eau transite ensuite dans des bassins moins profonds, à macrophytes (iris, roseaux, joncs...). Ceux-ci absorbent les éléments minéraux issus de la dégradation de la matière organique pour leur croissance.

Cette technique présente la caractéristique de nécessiter une surface importante, entre 15 et 20 m² pour un volume de 50 m³ d'eau, voilà pourquoi on lui attribue la propriété extensive. Le temps de séjour doit être élevé (minimum 30 jours, voire plus). Les boues se concentrent sur le fond et interviennent dans la biologie du système et ne doivent être évacuées qu'après quelques 5 à 10 années.

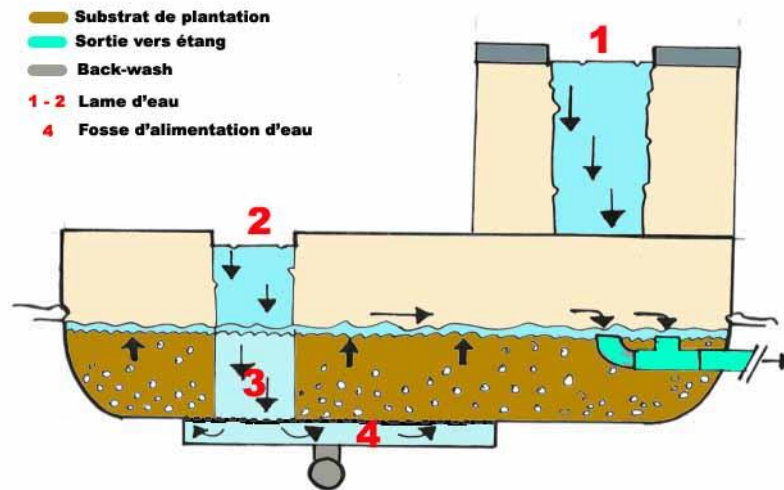


Figure 2 : schéma descriptif du procédé de lagunage

Avantage :

Le lagunage naturel présente de nombreux avantages par rapport aux procédés traditionnels:

- Excellente élimination de la pollution microbologique.
- Faibles coûts d'investissement et de fonctionnement.
- Très bonne intégration paysagère.
- Valorisations aquacole et agricole de la biomasse planctonique produite et des effluents épurés.
- Contribue au développement et à la diversification de la flore locale, ainsi qu'à la protection de la faune et de la biodiversité.

Inconvénients

- Contraintes possibles s'il y a la nécessité d'imperméabiliser le sol.
- Variation saisonnière de la qualité de l'eau en sortie.
- N'apprécie pas les grandes pollutions ponctuelles et les pollutions chimiques.
- En cas de mauvais fonctionnement, risque d'odeurs.
- Ne supporte pas l'état de putréfaction.

2.1.3 Les lits bactériens :

Procédé d'épuration biologique par cultures fixées, le lit bactérien est une méthode utilisée très souvent pour les eaux fortement chargées en pollution, essentiellement en provenance d'industrie agroalimentaire, apport viticole et autres.

Le mécanisme de fonctionnement repose sur le passage de l'eau à travers des supports où les micro-organismes épurateurs ont été fixés au préalable. Le support des bactéries est un matériau poreux inerte ayant un taux de vide de 50% et peut être constitué de minéraux comme la pouzzolane et le coke métallurgique, plastique, de roches volcaniques, de cailloux etc.

Pour ne pas avoir un colmatage rapide de la culture bactérienne, il faut effectuer les opérations de prétraitement suivantes : dégrillage, dessablage, dégraissage et décantation primaire (décanteur-digesteur).

L'eau à traiter est envoyée en tête de réacteur, s'en suit une dispersion de l'eau grâce à un gicleur ou par une grille de répartition plane, et ce pour une répartition aussi uniforme que possible. Les bactéries aérobies vont minéraliser la matière organique en suspension. L'aération dans le lit bactérien est réalisée par tirage naturel ou par ventilation. Ainsi, une aération abondante, par le sommet et le bas du massif filtrant provoque sur ce dernier le développement d'une flore microbienne aérobie, de plus, la percolation lente de l'effluent rend le processus d'oxydation efficace. [4]

Lorsque la pellicule bactérienne devient trop importante, elle se détache naturellement; elle doit alors être séparée de l'effluent par décantation. L'eau va donc dans un décanteur secondaire (ou clarificateur) afin d'éliminer les éventuelles boues restantes.

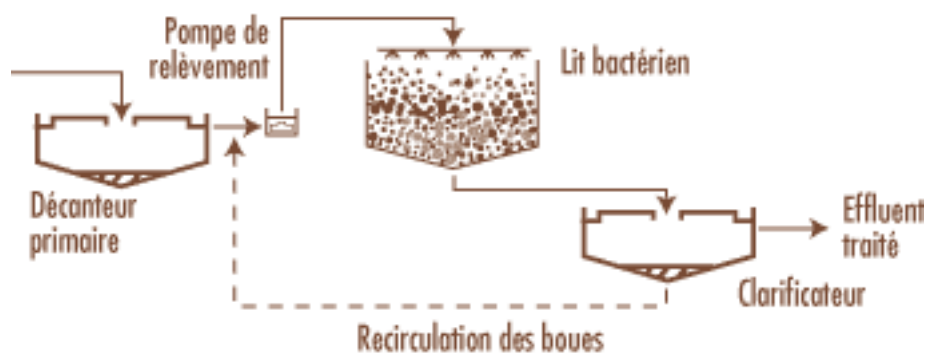


Figure 3 : schéma représentatif du système des lits bactériens

Avantage :

- Faible consommation d'énergie ;
- Fonctionnement simple demandant peu d'entretien et de contrôle ;
- Peut être installé en amont d'une station à boue activée afin de déconcentrer les effluents du type agroalimentaire ;
- Bonne décantabilité des boues ;
- Plus faible sensibilité aux variations de charges et aux toxiques que les boues activées.

Inconvénients :

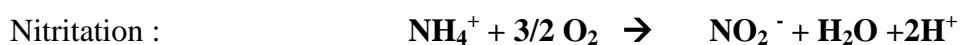
- Performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées, qui tient en grande partie aux pratiques anciennes de conception. Un dimensionnement plus réaliste doit par conséquent permettre d'atteindre des qualités d'eau traitée satisfaisantes ;
- Coûts d'investissement assez élevés ;
- Nécessité de prétraitements efficaces ;
- Sensibilité au colmatage et au froid ;
- Source de développement d'insectes (en cas de conception et/ou d'exploitation défectueuse) ;
- Boues fermentescibles ;
- Ouvrages de taille importante si des objectifs d'élimination de l'azote sont imposés.

L'épuration par lit bactérien permet pour une station de traiter des charges de pollution de 100 à 3000 éq-hab, mais convient surtout pour des charges de 300 à 2000 éq-hab (équivalent habitant).

2.1.4 L'élimination de l'azote : (Nitrification- Dénitrification)

L'azote est considéré comme le second polluant des eaux après le carbone et avant le phosphore. Il est présent surtout sous forme ammoniacale, dont l'épuration biologique implique les deux principales étapes du cycle de l'azote : la nitrification autotrophe aérobie et la dénitrification hétérotrophe anaérobie. [6]

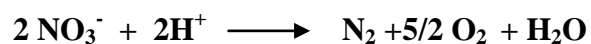
La nitrification se réalise grâce à l'action conjointe de deux populations bactériennes autotrophes (Nitrosomonas et Nitrobacters) : les bactéries nitritantes, oxydant l'azote ammoniacal en nitrites (**nitritation**), et les bactéries nitratantes, qui oxydent les nitrites en nitrates (**nitratisation**). Les équations stœchiométriques illustrant les processus sont :



La nitrification se fait dans le bassin d'aération (réacteurs biologique) après un temps de contact suffisant entre l'effluent et les bactéries. Les bactéries autotrophes fixent elles-mêmes le carbone nécessaire à leur croissance dans le CO₂ de l'air.

La dénitrification consiste à dénitrifier (ou dénitrater) les nitrates résultants de la nitrification. Cette transformation peut se faire en pompant une partie de l'eau chargée de nitrates de la fin de traitement biologique et la mélanger à l'eau d'entrée, en tête de traitement. La dénitrification se passe dans un réacteur anoxique, en présence de composés organiques et de nitrates. [7]

Les nitrates sont réduits en diazote (N₂) qui s'échappe dans l'air. Selon l'équation suivante :



Les nitrates sont des nutriments qui sont à l'origine de l'envahissement d'algues dans certaines mers. La dénitrification se fait généralement sur les petites stations d'épuration dans le même bassin que la nitrification par syncopage (arrêt de l'aération, phase anoxie). Cette étape tend à se généraliser pour protéger le milieu naturel.

2.2 Traitement physico-chimique :

Le traitement physico-chimique est la combinaison de méthode physique d'épuration (floculation, coagulation) et de produits chimiques (coagulant, floculant : FeCl₃, Al₂SO₄, etc.).

Ces traitements sont plus couramment utilisés pour traiter les effluents d'origine industriels contenant des éléments toxiques qui risquent d'inhiber les micro-organismes du traitement biologique. Egalement, le traitement physico-chimique est plus efficace lors d'une variation

rapide de flux de traitement (cas des stations d'épuration de communes touristiques, ou lorsqu'avec un réseau unitaire on veut faire face à l'arrivée d'eau de pluie).

Dans l'état actuel des technologies, les membranes de microfiltration, ultrafiltration et nanofiltration sont encore réservées à la potabilisation de l'eau.

Dans les installations complexes devant traiter plusieurs paramètres, on peut rencontrer les deux filières simultanément. [8]

Avantage :

- Réponse immédiate aux variations de charge
- Capacité des installations, meilleure intégration au site
- Bonne élimination de la pollution toxique
- Déphosphoration simultanée [5]

Inconvénients :

- Grande quantité des boues produites
- Cout élevé occasionné par les réactifs
- Rendement d'épuration inférieur à l'épuration biologique
- Risque de coloration (sel de fer sur eaux septiques) [5]

Dé phosphatation

Le phosphore est considéré comme étant le troisième polluant, en termes de quantité dans les eaux usées urbaines, après le carbone et l'azote. Son élimination est plus courante en processus physico-chimique que biologique. [7]

Cinq types de traitement sont possibles :

- Le traitement physique: utilise des filtres ou des membranes afin d'enlever le phosphore.
- Le traitement chimique: il s'agit de réaction des sels formant des précipités insolubles au fond du bassin. D'autres composés chimiques tels que le calcium ou le fer peuvent être utilisés. Cette méthode reste assez coûteuse et augmente le volume à traiter.
- Un traitement combinant les méthodes chimiques et physiques.
- L'EBPR (enhanced biological phosphorous removal) qui consiste à l'accumulation de phosphore par des micro-organismes, sous forme de poly phosphate par exemple.

Acinetobacter spp. : Est une bactérie potentiellement responsable de cette accumulation de phosphore et est désignée sous le nom de PAOS (phosphorous accumulating organisms). L'EBPR est utilisé selon une configuration anaérobie - aérobie, et malgré le fait que ce système soit assez cher à mettre en place, il est favorable à l'environnement et rentable à long terme.

La compréhension de ce processus biologique doit être poursuivie notamment via des études FISH (Fluorescence in situ hybridization) sur les actinobactéries, et via des expériences faites en laboratoire à l'aide de bioréacteurs reconstituant les conditions naturelles de cette accumulation de phosphore à travers des bactéries comme *A. phosphatis*, qui est utilisée à hauteur de 85% dans les bioréacteurs.

3. Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire fait référence au traitement bactériologique, cette étape de traitement n'est pas indispensable et n'est pas pratiquée dans toutes les stations d'épuration des eaux usées. Son but est l'élimination des germes pathogènes (bactéries) présents dans l'eau traitée.

Elle peut être demandée pour protéger une zone de baignade, un captage d'eau potable ou une zone conchylicole (*conchyliculture : est l'élevage des coquilles en général, tel que les rigadeaux et les palourdes*). Ce traitement peut être réalisé par ozonation, par un traitement aux UV ou pour des petites capacités de station d'épuration par une filtration sur sable (sable siliceux et de granulométrie spécifique). [9]

Traitement bactériologique par rayonnement UV

Il existe une certaine variété de systèmes sur le marché. Le principe traditionnel de désinfection par rayonnement UV consiste à soumettre l'eau à traiter à une source de rayonnements UV en la faisant transiter à travers un canal contenant une série de lampes submergées. Depuis quelques années, l'on trouve aussi, surtout pour les petites stations de traitement des eaux usées, un système basé sur des réacteurs monolampe, qui offre des avantages au niveau de la maintenance et des coûts d'utilisation. [8]

Traitement par voie physico-chimique

Le traitement tertiaire inclut un ou plusieurs des processus suivants:

- Désinfection par le chlore ou l'ozone (pour éliminer les germes pathogènes).
- Neutralisation des métaux en solution dans l'eau : en faisant varier le pH de l'eau dans certaines plages, on obtient une décantation de ces polluants.

Chapitre II : Réutilisation des Eaux Usées Epurées

L'épuration des eaux usées est devenue une nécessité en raison des problèmes d'approvisionnement en eau, que ce soit pour des raisons industrielles, urbaines ou agricoles. Dans cette logique de préservation des ressources naturelles, la réutilisation des eaux usées représente une opportunité et une solution concernant les problèmes d'eau.

Dans le monde et particulièrement en Europe et en Amérique les recherches et applications dans ce domaines sont très avancées du fait de la grande consommation en eau potable de ces pays et ainsi pour pâler au manque d'eau pour (avec la recrudescence et l'explosion démographie) tous domaine d'application de ces eaux épurées. Il se trouve que l'agriculture se retrouve en haut de liste des différents domaines d'application.

1. Les domaines d'application de réutilisation des eaux usées épurées

Ils sont variés ; comme suit :

- Utilisation en agriculture : L'utilisation des eaux épurées dans l'agriculture doit être minutieusement surveillée et régulièrement analysée car les risques pour les cultures sont très importants. Ces eaux ne sont pas destinées aux cultures comme les légumes à consommer cru et les cultures maraîchères. Par contres les cultures industrielles, l'arboriculture, l'aquaculture etc. ne nécessitent qu'une surveillance standard des caractéristiques usuelles.
- Eau de refroidissement pour les industries
- Utilisation urbaine : Embellissement des villes (jet d'eau, fontaines, bassins d'eau, etc.), irrigation des parcs, golfs etc. protection contre les incendies, nettoyages des rues, trottoirs etc. [10]

La réutilisation des eaux usées épurées en agriculture demande une surveillance particulière et fréquente, et ce concernant certains paramètres qui risques la contamination des cultures et des sols. Les paramètres à surveiller sont de nature physique, chimique et biologique.

2. Caractéristiques de l'eau d'irrigation :

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa

perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation.

La qualité de l'eau d'irrigation peut être mieux déterminée par une analyse chimique en laboratoire. Les facteurs les plus importants pour déterminer la qualité requise de l'eau dans l'agriculture sont les suivants:

La salinité : elle est représentée par la concentration des ions calciums Ca^{2+} , magnésiums Mg^{2+} , sodiums Na^+ , chlorures Cl^- , sulfates SO_4^{2-} et bicarbonates HCO_3^- . Une salinité élevée traduit la présence d'une grande quantité d'ions en solution ce qui amènerait à causer des dégâts irréversibles vis-à-vis des plantes comme les brûlures racinaires. [11]

La salinité étant mesurée par le taux de matière dissoute totale (MDT) en mg/l. Elle est mesurée également par la conductivité électrique en mS/cm où $1\text{dS/m} = 640\text{ ppm de sel}$.

Le sodium : le sodium provient de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation. C'est un élément indésirable dans l'eau d'irrigation. En grande quantité il a des effets sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau.

De grande quantité de sodium combiné avec du chlorure donne à l'eau un goût salé.

La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le taux d'absorption du sodium (SAR). Le SAR décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calciums et magnésiums, qui eux, peuvent être tolérés en quantité relativement grande dans l'eau d'irrigation. [10]

Calcul du SAR :
$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+})/2}}$$
 (Na, Ca et Mg en meq/l)

- Eau de $\text{SAR} > 9$: pas utilisable
- Eau de $0 < \text{SAR} < 6$: utilisable sur tous les types de sols
- Eau de $6 < \text{SAR} < 9$: risque de imperméabilité élevé

Alcalinité et dureté : l'alcalinité est la mesure du pouvoir de l'eau à neutraliser les acides, c'est un peu comme le pouvoir tampon de l'eau. Elle correspond aussi à la mesure de la résistance à tout changement de pH.

Le pouvoir neutralisant de l'eau est attribué à la présence des bicarbonates de calcium et de magnésium ou également mais en moindre mesure aux hydroxydes, bases organiques, borates ou ions ammonium. L'alcalinité est exprimée en ppm (mg/L) de carbonates de calcium CaCO_3 . Pour corriger l'alcalinité, il est nécessaire de rajouter de l'acide, qui va abaisser le pH et ainsi libération des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} et les rendre disponible pour les plantes. [12]

La dureté de l'eau fait référence à la quantité de calcium et magnésium contenu dans l'eau. Ces deux éléments proviennent de l'altération de la roche mère.

Une eau dure n'est pas souhaitable pour une utilisation domestique car elle réduit de beaucoup l'efficacité du savon par contre en agriculture une eau dure aide le sol à conserver une bonne structure par les ponts calciques. La dureté est exprimée sous forme d'équivalent de carbonates de calcium en CaCO_3 ppm ou mg/L.

Eléments toxiques : les plus dangereux et notamment à surveiller ; Bore, Sodium et Chlore.

Le Bore en excès dans une eau peut être associé à la présence de puits en profondeur. Une eau d'irrigation contenant 1 ppm de Bore cause une accumulation toxique pour les cultures sensibles. Dégâts

Les chlorures causent des dommages lorsque la quantité est élevée surtout pour les eaux d'irrigation par aérosol.

Sulfates ; il y a carence si la teneur est inférieure à 48 ppm.

Le pH : lié à la concentration des ions (H^+) en solution, il est un indicateur de l'acidité d'une solution. Plus la concentration en (H^+) augmente plus le pH est bas.

Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5.5 et 6.5 ; le domaine de pH où la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale. Pour abaisser le pH, on injecte de l'acide, généralement on utilise de l'acide sulfurique. [12]

Les normes internationales liées aux paramètres de surveillance de la qualité de l'eau d'irrigation sont pour la plupart dictés par l'OMS ou la FAO, sont les suivantes :

Tableau 1 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées. [23]

Paramètres	Unités	Normes
pH		6,5 – 8,4*
Turbidité	NTU	/
CE	$\mu\text{S/m}$	<700 * Aucune restriction 700 – 3000 * restriction légère à modérée >3000 * Forte restriction
MES	mg/l	< 70**
DCO	mg O ₂ /l	< 40**
DBO5	mg O ₂ /l	< 10**
NO ₃ ⁻	mg/l	50**
NO ₂ ⁻	mg/l	< 1**
NH ₄ ⁺	mg/l	< 2**
PO ₄ ³⁻	mg/l	< 0,94**
HCO ₃ ⁻	mg/l	500*
Cl ⁻	mg/l	1065*
Ca ²⁺	mg/l	400*
Mg ²⁺	mg/l	60, 75*
K ⁺	mg/l	50*
Na ⁺	mg/l	920*
Chlore libre	mg/l	/
SAR	méq/l	<3* Aucune restriction 3-9* restriction légère à modérée >9* Forte restriction
Coliformes totaux	UFC/100ml	/
Streptocoques fécaux	UFC/100ml	1000**
Salmonelles	UFC/100ml	Absence **

* les normes FAO, ** les normes OMS

3. Risques liés à l'utilisation des eaux usées épurées dans l'agriculture :

L'utilisation des eaux usées épurées représente un risque important même si on considère qu'elle est bien épurée et répondant à des normes sévères, le risque reste présent et majeur concernant les éléments chimiques et les caractères microbiologiques.

3.1. Les risques microbiologiques :

Bien qu'il a été prouvé que l'intrusion des plantes par des micro-organismes nuisible (pathogènes) n'est pas possible (les micro-organismes ne survivent pas dans l'organisme de la plante), le risque de contamination reste présent et non négligeable, car les micro-organismes se retrouvent sur les plantes ou le sol. Dans ces cas là, le contact avec l'homme se produit pendant la croissance des plantes ou lors des récoltes. [10]

Les voies de contamination sont divers et dépendant des micro-organismes et leur caractéristiques ; les voies respiratoires, la voie cutanée, et l'ingestion.

Tableau 2 : Les parasites pathogènes dans les eaux usées [26]

Organisme	Symptômes, maladies	Nbre / 1l d'eau usée	Voies de contamination principales
Protozoaires			
Entamoeba histolytica	Dysenterie amibienne	4	Ingestion
Giardia lamblia	Diarrhée, malabsorption	125 à 100000	Ingestion
Balantidium coli	Diarrhée bénigne, ulcère du colon	28-52	Ingestion
Cryptosporidium	Diarrhée	3- 122	Ingestion
Toxoplasma gondii	Toxoplasmose :ganglions, faible fièvre		Inhalation / Ingestion
Cyclospora	Diarrhée, légère fièvre,		Ingestion
Microsporidium	Diarrhée		Ingestion
Helminthes			
Ascaris	Ascariadiase : diarrhée, troubles nerveux	5 à 111	Ingestion
Ancylostoma	Anémie	6 à 188	Ingestion/ Cutanée
Necator	Anémie		Cutanée
Tænia	Diarrhée, douleurs musculaires		Ingestion de viande mal cuite
Trichuris	Diarrhée, douleur abdominale	10 à 41	Ingestion
Toxocora	Fièvre, douleur abdominale		Ingestion
Strongyloides	Diarrhée, douleur abdominale, nausée		Cutanée
Hymenolepis	Nervosité, troubles digestifs, anorexie		Ingestion

3.2.Les risques chimiques :

- Les éléments traces :

Les éléments traces comme les métaux lourds, les hydrocarbures etc. représentent un risque de toxicité majeur à cause de leurs propriétés physiques et chimiques. Ces

éléments perturbent le développement des plantes et peuvent causer des dégâts sur la santé humaine et animale.

Les métaux lourds (Cu, Cr, Ni, Ag, Cd, Zn, Pb, etc.) ont un comportement dans le sol dépendant du pH de ce dernier. En effet la solubilité des métaux lourds diminue avec l'augmentation du pH (phénomène beaucoup plus complexe ou interviennent l'adsorption et la formation de complexes dissous). [13]

Ce qui accentue le risque de contamination, c'est le fait que les éléments traces sont, en général, immobilisés dans les couches supérieures du sol (par adsorption ou échange d'ion) ce qui les rend encore plus accessible aux plantes.

- Les éléments nutritifs :

En trop grande quantité, les éléments nutritifs tels que l'azote, le potassium, etc. représentent un risque pour les cultures ; causant des diminutions de productivité, de fertilité et de rendement des terres.

a. L'azote : Bien qu'il soit un des éléments essentiels à la croissance des plantes, en excès l'azote peut avoir des impacts négatifs sur les cultures, et sur les humains et animaux de façon indirecte.

Les nitrates représentent la forme de l'azote la plus récurrente dans les eaux épurées. Dans le milieu naturel, ils sont en grande majorité consommés par les végétaux, et la fraction qui reste est « lessivée », par l'infiltration de la pluie ou les eaux d'irrigation. En raison de leur solubilité et de leur forme anionique, les nitrates sont très mobiles dans l'eau, ainsi ils sont entraînés en profondeur vers les nappes d'eaux souterraines ou vers les cours d'eau avoisinants. [23]

Un risque de toxicité par rapport à l'ammonium existe mais reste néanmoins rare. L'ammonium, sous certaines conditions de pH ($\text{pH} > 9$) se transforme en ammoniac, gaz dissous, très toxique pour les poissons. L'ammonium s'oxyde lentement en nitrates dans la rivière (bactéries nitrifiantes), et consomme de l'oxygène.

Le phénomène d'eutrophisation est en partie dû à l'excès de nitrate dans les cours d'eau.

Sur les plantes, l'excès de nitrate dans les eaux d'irrigation cause des dommages sur les cultures, en diminuant la croissance (retards de maturation, la verse sur les céréales...). Ce qui cause donc une diminution de la productivité.

Sur la santé humaine : les nitrates dans l'organisme humain peuvent se transformer en nitrites, qui sont très toxiques et sont responsables de maladies ; la méthémoglobine et le cancer. **La méthémoglobine** ou communément appelée la maladie du sang bleu chez le nourrisson, les nitrites sont de fort oxydant et ils transforment l'hémoglobine en méthémoglobine, qui est incapable de relier ou de transporter l'oxygène jusqu'aux tissus.

L'alimentation est la voie principale d'intoxication à l'azote et c'est majoritairement par les végétaux (70%) et très rarement par les eaux potables.

b. Le potassium : La concentration en potassium dans les effluents secondaires varie de 10 à 30 mg/l. Un excès de fertilisation potassique conduit à une fixation éventuelle du potassium et une augmentation des pertes par drainage en sols légers.

c. Le phosphore : Le principal problème causé par le phosphore est l'eutrophisation des milieux aquatiques, notamment des lacs.

L'eutrophisation est "**l'asphyxie des eaux d'un lac ou d'une rivière**" due à un apport exagéré de substances nutritives - notamment le phosphore - qui augmente la production d'algues et de plantes aquatiques. La décomposition et la minéralisation de ces algues, lorsqu'elles meurent, consomment de l'oxygène dissous. Autrement dit, plus il y a d'algues, moins il y a d'oxygène, particulièrement dans les eaux du fond. En dessous d'un certain seuil, on parle généralement de 4 mg d'oxygène par litre, les conditions de vie deviennent difficiles pour la faune et la flore. [7]

d. La salinité : le sol étant déjà riche en sel minéraux, un apport supplémentaire par le biais des eaux d'irrigation risquerait de provoquer une accumulation de sel après évaporation et donc un assèchement du sol.

D'autant plus que l'Algérie, considéré comme un pays semi aride voir aride dans certaines régions du sud du pays, l'effet de la salinité des eaux d'irrigation se ressent plus souvent et avec une grande intensité.

La forte salinité des eaux d'irrigation cause dans le sol :

- L'évaporation du potentiel hydrique,
- La diminution de la cohésion (sol friable),
- Augmentation des pores des composés,
- Elimination des nutriments vers la nappe souterraine, [14]

Le sodium ; faisant partie des éléments qui font augmenter la salinité, il représente un risque majeur, particulièrement combiné avec le chlore (NaCl), de détérioration du sol (composition du sol ; effet sur agrégats du sol).

3.3. Le stockage de l'eau :

Le stockage permet de faire face aux **variations de flux** liées aux précipitations ou aux variations démographiques (stations touristiques). Le stockage après épuration de l'eau aura une incidence sur la qualité de l'eau en fonction du temps de rétention.

- Un stockage « tampon » : il sert uniquement à réguler les variations quotidiennes de flux dans la station. La durée de stockage peut varier de 24 à 72 h, ce qui laisse supposer que la qualité de l'eau n'aura pas varié ;
- Un stockage pour affiner le traitement microbiologique, notamment pour les parasites, qui peut durer une dizaine de jours ;
- Un stockage de longue durée, plusieurs mois pour certaines réutilisations agricoles. Dans ce cas, une évolution de la qualité microbiologique est possible.

4. Réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation en Algérie :

4.1. La situation actuelle de l'Algérie en matière eau :

La situation hydrique actuelle de l'Algérie enregistre un déficit en matière d'eau disponible pour le secteur agricole et particulièrement l'irrigation. En effet, en terme de superficie disponible 8.5 millions ha ; la superficie irriguée n'est que 900 000 ha, ce qui correspond à seulement 10% de la surface agricole utile.

La source de cette eau d'irrigation provient essentiellement des barrages pour des grands périmètres d'irrigation et des eaux souterraines pour des petites et moyennes irrigations (78%). [23]

Un constat de déficit total concernant la pluviométrie de plus de 30%, un faible taux de remplissage des barrages, un taux de satisfaction de l'irrigation de 25 % et une demande en eau en augmentation dû à une croissance démographique et un développement économique. [23]

État des ressources disponible en eau :

- Eaux souterraines :
 - Volume exploité au nord : 1,8 milliards de m³/an .
 - Volume exploité au Sahara : 2 milliards de m³/an
- Eaux superficielles :
 - Nombre de grands barrages : 59.
 - Capacité totale actualisée : 6 milliards de m³.
 - Volume régularisé : 2 milliards de m³/an.
 - Volume mobilisé (juillet 2007) : 3 milliards de m³.
 - Taux de remplissage : 50 %. [23]

4.2. Projet dans le cadre de la réutilisation des eaux usées épurées :

Le volume d'eaux usées rejetées à l'échelle nationale est estimé actuellement à près de 750 millions de m³ et dépassera 1,5 milliards de m³ à l'horizon 2020. Afin de prendre en charge l'épuration de ce potentiel d'eaux usées, le secteur des ressources en eau a engagé un programme ambitieux en matière de réalisation d'installations d'épuration. Le nombre de stations d'épuration en exploitation est de 102 (52 STEP et 50 lagunes) pour une capacité installée actuelle de 570 hm³/an (en 1999 : 28 STEP pour une capacité de traitement de 98 hm³/jour). Le nombre de stations en cours de réalisation est de 176 (87 STEP plus 89 lagunes) pour 355hm³/an. [24]

Dans le cadre de la stratégie nationale du ministère des ressources en eau en matière de la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles, plusieurs projets sont en cours de préparation ou sont en réalisation.

Cette stratégie consiste à contribuer à l'extension des terres irriguées, à l'augmentation de la production agricole et à la préservation des ressources hydriques superficielles et souterraines. [15]

Quatre projets totalisant une superficie de 3.000 ha

- Périmètre de Hennaya à partir de la STEP de Tlemcen (wilaya de Tlemcen) sur une superficie de 912 ha.

- Périmètre de Dahmouni (wilaya de Tiaret) sur une superficie 1.214 ha.
- Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de la ville de Bordj Bou Arreridj sur une superficie de 350 ha.
- Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de Hamma Bouziane à Constantine sur une superficie de 327 ha. [15]

Chapitre III : Traitement et valorisation des boues d'épuration

Les boues résiduelles générées par l'épuration des eaux usées constituent une nouvelle menace pour l'environnement de part leur forte concentration en charge polluante. Mais malgré cela, elles renferment un potentiel très généreux concernant les matières organiques et les éléments fertilisants.

Avec un choix de traitement adéquat, la protection de l'environnement devient envisageable par la valorisation de ces boues par différents aspects et particulièrement le secteur de l'agriculture regorge de possibilité. En effet, la concentration d'éléments fertilisants présents dans le sol diminue au fil des années et Les boues de la station d'épuration peuvent constituer un apport non négligeable en matière organique pour le sol.

1. Les différentes boues d'épuration issues des traitements des eaux usées :

1.1 Définition :

Les boues d'épuration sont les sous produits d'une station d'épuration des eaux. Considérés comme des déchets, ces boues représentent une menace pour l'environnement du fait de leur composition ; cadavres de bactéries pour l'épuration biologique et produits chimiques (floculant, coagulant) pour les procédés physico-chimiques, qui ne convient pas à n'importe quel environnement.

1.2 Types de boues :

Dépendant de la filière de traitement choisie pour les eaux usées, on distingue différents types de boues :

- Les boues primaires : Provenant généralement de la décantation primaire, il s'agit de dépôts dans les décanteurs-digesteurs par exemple, elles présentent des concentrations élevées en matières minérales (sable, terre...) mais aussi en matière organique pouvant évoluer.
- Les boues physico-chimiques : Elles sont concentrées en produits chimiques issus de l'épuration physico-chimique par l'ajout de réactifs (sels de fer, d'aluminium, et

autres agents flocculant) pour agglomérer les fines particules et améliorer la décantation.

- Les boues biologiques : elles sont aussi appelées boues secondaires, elles proviennent d'une épuration biologique des eaux (boues activées, disques biologiques, lits bactériens...). Ces boues, de concentrations médiocres (10 g/l), sont très organiques car elles sont principalement constituées de corps bactériens et de leurs sécrétions. [18]

On distingue aussi :

- Les boues mixtes constituées d'un mélange de boues primaires et biologiques, elles proviennent de la plupart des stations de traitement complètes.
- Les boues d'aération prolongée, obtenues sans décantation primaire avec des matières polluantes intensivement aérées. Ces boues sont peu concentrées, moins organiques et donc moins susceptibles de produire des nuisances.

1.3 Caractéristiques

Une boue est aussi représentée par plusieurs données numériques qui permettent de la caractériser.

- La siccité : les boues sont constituées d'eau et de matières sèches. La siccité est le pourcentage massique de matière sèche. Ainsi une boue avec une siccité de 10 % présente une humidité de 90 %.
- Le taux de matières volatiles sèches (MVS) : la matière sèche est constituée de matières minérales et de matières organiques qui sont appelées matières volatiles sèches. La concentration en MVS est un taux par rapport à la matière sèche totale. Le suivi de ce taux permet de connaître le degré de stabilisation d'une boue.
- La consistance : C'est une donnée obligatoire à connaître pour toute manipulation des boues. La consistance est un état physique dépendant de la siccité.
- Boues liquides / siccité de 0 à 10 %
- Boues pâteuses / siccité de 10 à 25 %
- Boues solides / siccité de 25 à 85 %
- Boues sèche / siccité supérieure à 85 % [17]

Selon les traitements d'épuration appliqués les boues ont des caractéristiques différentes :

- Lit bactérien : siccité 2 à 5 % ; MVS 60 à 70 %
- Lagunage naturel : siccité 5 à 10 % ; MVS 30 à 60 %
- Décanteur-digesteur : siccité 4 à 7 % ; MVS 40 à 60 %
- Boues du bassin d'aération en station à boue activée : siccité 0,4 à 0,6 % ;
- Boues du clarificateur en station à boue activée : siccité 1 % ; [17]

2. Les divers procédés de traitement des boues :

Les boues se présentent au départ sous forme liquide et avec une forte charge en matière organique hautement fermentescible. Ces deux caractéristiques sont gênantes quelle que soit la destination des boues et imposent la mise en place d'une filière de traitement, c'est-à-dire une suite organisée de procédés qui agissent de façon complémentaire.

On identifie trois principaux types de traitement des boues ; la stabilisation (chimique, biologique et thermique), la réduction de la teneur en eau et l'hygiénisation.

2.1 La stabilisation :

Elle vise à réduire la fermentescibilité pour atténuer ou supprimer les mauvaises odeurs.

La digestion anaérobie est un procédé biologique qui permet la conversion du carbone organique en biogaz composé de méthane CH_4 et de dioxyde de carbone CO_2 . Le traitement de résidu solide ou effluent hautement chargé en matière en suspension (MES), (traiter seule ou en mélange) la méthanisation devient un procédé de transformation. On obtient deux sous produit valorisable ; le biogaz énergie renouvelable et un digestat d'intérêt agronomique à valeur fertilisante et comme amendement organique. [25]

Le compostage constitue un procédé particulier de stabilisation biologique aérobie. Il se réalise de préférence sur des boues déjà déshydratées de façon à économiser l'approvisionnement en support de compostage, les boues n'étant pas auto-compostables. Les boues compostées ont un aspect de « terreau » et présentent une structure solide ; elles sont stables. On constate actuellement un fort regain d'intérêt pour cette technique en raison des nouvelles données réglementaires et économiques concernant la gestion des déchets. [16]



Figure 4 : Le compostage

La stabilisation chimique bloque simplement l'activité biologique, et donc l'évolution de la boue, par adjonction d'une quantité importante de chaux (10 à 50 % de la matière sèche, en général 30 %) élevant le pH au delà de 12.

Le chaulage suppose généralement une déshydratation préalable des boues, sauf dans le cas du filtre-pressé où un lait de chaux est mélangé aux boues liquides. Les boues chaulées obtenues sont de structure pâteuse ou solide.

La stabilisation par chaulage connaît un développement soutenu depuis plusieurs années en raison de son efficacité vis à vis de la maîtrise des nuisances olfactives et de l'intérêt des boues pour le chaulage des sols acides. [25]

Le séchage thermique des boues revêt un effet temporaire de stabilisation (par absence d'eau), persistant aussi longtemps que les boues ne sont pas réhumectées. Pour des raisons de coût, le séchage se pratique sur des boues déjà déshydratées mécaniquement.

2.2 Réduction de la teneur en eau des boues :

Pour réduire les volumes à manipuler, différents procédés sont mis en œuvre comprenant, par ordre croissant d'efficacité et de coût, l'épaississement, la déshydratation et le séchage.

En amont de ces procédés, des traitements dits de conditionnement sont souvent utilisés pour favoriser la séparation liquide-solide. Ils utilisent des flocculants organiques de synthèse (appelés polyélectrolytes) ou minéraux (chaux, sels de fer ou d'aluminium).

Le conditionnement peut aussi se faire par voie thermique (autoclavage) et consiste en une cuisson des boues à 180 - 220 °C pendant une demi-heure à deux heures pour casser les liaisons colloïdales propres à la rétention d'eau.

L'épaississement vise à augmenter la siccité (teneur en matière sèche) des boues sans pour autant modifier le caractère liquide de la boue. Cet épaississement peut se faire simplement par voie gravitaire dans un concentrateur ou par des moyens mécaniques (égouttage, flottation ou centrifugation). La siccité des boues épaissies ne dépasse pas usuellement 7 % en moyenne et se situe plutôt vers 5 à 6 %. Généralement, les boues épaissies gravitairement ne sont pas conditionnées et leur siccité plafonne à 3 ou 3,5 %. Ce procédé est fréquent en zone rurale et concerne les petites stations d'épuration, de taille inférieure à 2000 équivalent-habitants. L'épaississement dynamique (ou mécanique) devient plus fréquent pour les stations de taille comprise entre 2000 et 5000 équivalent-habitants. [16]

Ces valeurs sont simplement indicatives car les situations observées sur le terrain restent fort diverses.



Figure 5 : Épaississement des boues par flottation

La déshydratation, qui correspond en fait à une forte augmentation de siccité, modifie l'état physique des boues, celles-ci passant de l'état liquide à l'état pâteux ou solide.

Les filtres à bandes et les centrifugeuses (à noter que les centrifugeuses donnent selon leur réglage des boues liquides ou pâteuses) donnent des boues plutôt pâteuses en raison de performances de déshydratation qui plafonnent à 18-20 % de siccité pour la première famille de matériels, et 20-25 % de siccité pour la seconde.

Les filtres-presses produisent par contre des boues de structure solide (30 à 35 % de siccité) car conjuguant un conditionnement au lait de chaux et des pressions élevées. Ces matériels sont réservés aux installations les plus importantes, car plus coûteux et contraignants d'emploi que les filtres à bande et les centrifugeuses. Des perfectionnements technologiques sont régulièrement enregistrés. [25]

Le séchage élimine en grande partie ou en totalité l'eau par évaporation, soit par voie naturelle (lits de séchage), soit par voie thermique. La technique des lits de séchage se pratique à l'air libre sur des boues liquides et combine évaporation naturelle et drainage de l'eau libre à travers une couche filtrante de sable et de graviers. L'emprise au sol est de 1 m² pour 4 à 5 habitants raccordés.

Ce système extensif donne des boues solides à 35 - 40 % de siccité mais reste fort dépendant des conditions météorologiques.



Figure 6 : La technique des lits de séchage

Le séchage thermique permet une élimination quasi-totale de l'eau (siccité d'environ 95 %). Les boues obtenues sont pulvérulentes ou en granulés.

En raison des coûts énergétiques, ce procédé reste peu utilisé en France, malgré son intérêt manifeste sur la réduction des volumes à manipuler. Le séchage thermique devrait connaître un nouveau développement dans les années à venir car les autres filières de traitement des boues, dont l'incinération, se renchérissent sous l'effet des nouvelles conditions réglementaires et économiques. [25]

3. La valorisation des boues d'épuration :

Les boues d'épuration représentent un déficit pour la protection de l'environnement. Leur valorisation est la solution idéale pour de tels types de déchets. Dépendant du traitement choisi pour l'eau et la boue, on obtient un type de boue d'épuration avec des caractéristiques spécifiques, ce qui conduit à des voies de valorisation particulières.

3.1. Les voies de valorisation :

Les principales voies d'élimination et/ou de valorisation se limitent donc à la mise en décharge, l'incinération et la valorisation agricole.

- 3.1.1. La mise en décharge : cette méthode n'est en rien écologique, car il est responsable de dégagement gazeux toxiques et à effet de serre. Les « jus » peuvent percoler dans les nappes phréatiques. Les boues doivent avoir une teneur minimale de 30 % de MS pour être stockées en décharge. [18]
- 3.1.2. L'incinération : ce procédé est très couteux, il peut être réalisé avec ou sans valorisation énergétique et concerne les grosses agglomérations, les collectivités où l'épandage des boues est concurrencé par l'épandage des déchets organiques d'origine agricole et les collectivités à caractère touristique. Son bilan écologique n'est pas intéressant, car il est à l'origine de pollution atmosphérique. Plusieurs types d'incinérations coexistent dont l'incinération spécifique et la co-incinération. Cette dernière consiste à incinérer des boues usées urbaines et des ordures ménagères. [18]
- 3.1.3. La valorisation agricole : ce procédé de valorisation est optimal pour une élimination totale de la pollution engendrée par l'épuration des eaux ; en effet la valorisation agricole consiste en un épandage des boues, pour un apport en éléments fertilisants et de matières organiques pour les sols appauvrit en ces éléments. [18]

3.2. L'épandage agricole :

La valorisation des boues d'épuration en agriculture est une pratique très écologique, du fait que les déchets d'épuration ne sont pas rejetés mais utilisés comme apport de matières organiques et d'éléments fertilisants. L'aspect économique de l'opération est important car les boues d'épuration peuvent apporter des quantités non négligeables en éléments fertilisants.

Les matières organiques :

Le terme matière organique regroupe une somme importante et hétérogène de substances et composés carbonés d'origine végétale et animale : des débris en cours de décomposition issus de la végétation (sarments, feuilles, racines, herbe) qui constituent la litière du sol, jusqu'à l'humus stable solidement fixé aux particules d'argile qui garantit la pérennité structurale. Il

est ainsi plus juste de parler des matières organiques du sol (MOS). Les MOS sont essentiellement localisés dans l'horizon superficiel du sol (0-20 cm).

Les matières fertilisantes :

Les éléments fertilisants représentent une part importante dans la croissance et le développement des plantes. Les éléments sont présents dans le sol sont : l'azote, le phosphore et le potassium principalement mais aussi certains moins importants en terme de quantité comme le calcium, le magnésium, le sodium et le soufre.

- Les éléments principaux ; (l'azote, le phosphore et le potassium) interviennent dans des réactions complexes dans le processus de croissance et développement des plantes
- Les éléments secondaires ; le magnésium, le calcium, sodium et soufre sont des nutriments certes pas primordiaux mais néanmoins d'une importance relative qui apporte un plus à la croissance des plantes.
- Les oligo-éléments : comme : le bore, chlore, cuivre, fer, manganèse, molybdène, zinc, sont utiles en petite quantité pour toutes les réactions chimiques qui ont lieu dans la plante tout au long de l'année.

3.3. Les avantages d'un épandage organique sur les terres agricoles par des boues d'épurations :

L'épandage agricole des boues d'épuration permet d'enrichir le sol en matière organique et en éléments fertilisants. Les avantages de l'utilisation de la matière organique dans le sol sont multiple :

Fournisser de nutriments à effet fertilisant :

Les boues d'épuration séchées contiennent en moyenne, une quantité plus au importante de nutriments minéraux essentielles aux plantes.

Valorisation des sols par apport de matières organiques :

- vis à vis de la qualité physique du sol, les matières organiques sont le liant des particules minérales (argiles, limons et sables) à travers le complexe argilo-humique,

et de ce fait, participent à la qualité de la structure du sol et à sa stabilité vis à vis des agressions extérieures (pluie, compaction entraînées par le passage d'engins agricoles...)

- le complexe argilo-humique, dont la structure est en feuillet, possède une charge négatif qui a la capacité de fixer les cations présents dans la solution du sol (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , etc.)
- les matières organiques assurent le stockage et la mise à disposition pour la plante, par minéralisation, des éléments dont elle a besoin.
- les matières organiques stimulent l'activité biologique du sol
- les matières organiques ont un rôle fondamental au niveau environnemental en retenant les micropolluants organiques et les pesticides. L'augmentation de leur temps de passage dans le sol permet d'améliorer leur dégradation par les micro-organismes. Elles participent au maintien de la qualité du sol.

Le rapport C/N :

Le rapport carbone sur azote est un indicateur qui permet de juger du degré d'évolution de la matière organique, c'est-à-dire son aptitude à se décomposer plus au moins rapidement dans le sol.

L'équilibre nutritionnel des microorganismes est situé à un rapport C/N de 24. En dessous de ce rapport, l'azote est en excès et sera donc libéré, à la disponibilité des plantes. Au dessus, de l'azote sera prélevé dans la solution du sol pour subvenir aux besoins des microorganismes. D'où :

- $\text{C/N} < 15$: production d'azote, la vitesse de décomposition s'accroît ; elle est à son maximum pour un rapport $\text{C/N} = 10$
- $15 < \text{C/N} < 20$: besoin en azote couvert pour permettre une bonne décomposition de la matière carbonée,
- $\text{C/N} > 20$: Pas assez d'azote pour permettre la décomposition du carbone (il y a compétition entre l'absorption par les plantes et la réorganisation de la matière organique par les microorganismes du sol, c'est le phénomène de "faim d'azote"). L'azote est alors prélevé dans les réserves du sol. La minéralisation est lente et ne restitue au sol qu'une faible quantité d'azote minéral. [19]

Ménagement des ressources globales :

Les réserves en phosphore (mines) sont surexploitées, ce qui amènerait à leur épuisement d'ici 80 ans, alors que des réserves souterraines (sous les mers) sont disponibles mais leur exploitation serait très coûteuses et l'extraction du phosphore est presque impossible. En ce qui concerne l'azote et le potassium, la situation est moins critique mais la préservation des ressources est néanmoins une bonne chose. [20]

Avantage économique :

La fertilisation avec des boues d'épuration permet de contribuer à la réduction des coûts des engrais et des nutriments (fertilisants industriels). Cela permettra aussi de diminuer les volumes des déchets mis en décharge ou incinérés. [20]

4. Les contraintes limitant l'utilisation des boues en agriculture :

L'application des boues d'épuration, même traitées, sur des terres agricoles représente un risque de contamination du sol. Appliquée pendant des années et inadéquatement, la fertilisation peut conduire à une pollution de eaux de surfaces (par drainage ou par érosion) ainsi que des eaux souterraines et de source. D'autre part, les polluants s'accumulent dans le sol, ce qui entraîne à long terme une diminution de la fertilité du sol (réduction de la diversité et de l'activité microbienne), de la qualité des plantes cultivées ainsi que du rendement de culture. De plus, les polluants peuvent atteindre la chaîne alimentaire et avoir des répercussions négatives sur les êtres humains et les animaux d'élevage.

4.1. Le risque des métaux lourds :

Les boues d'épuration contiennent des métaux lourds. La présence de ces derniers naturellement dans le sol, peut provoquer un vrai risque d'accumulation dans le sol dans le cas du non respect des normes d'utilisation des boues dans l'agriculture.

L'apport répété de boues par épandage pourrait, à long terme, provoquer dans les sols des accumulations incompatibles avec la qualité des cultures. Car des teneurs élevées en métaux lourds dans le sol mènent à une réduction de l'activité biologique du sol, à une diminution des rendements agricoles et à une accumulation de ces mêmes métaux dans les plantes. [20]

Les métaux lourds ou communément appelé Eléments Traces Métalliques, ont une origine industrielle (Cd, Ni, Hg, Cr), domestique (Cd, Cu, Pb) et pluviale (Ni, Pb, Zn). Les métaux les plus toxiques pour l'homme sont Cd, Hg et Pb.

Tableau 3 : Concentration moyenne en ETM dans les boues d'épuration [21]

Eléments traces métallique (ETM)	Valeur limites (mg/kg de ms)	Moyenne (mg/kg de MS)
Cd	20	5, 3
Cr	1000	80
Cu	1000	334
Hg	10	2,7
Ni	200	39
Pb	800	133
Zn	3000	921

4.2. Les polluants organiques :

Les polluants organiques sont des produits chimiques (hydrocarbures, détergents, restes de peinture et de solvant, produits de nettoyage ou de désinfection...) qui sont plus ou moins dégradés par l'activité microbologique du sol. Leur présence dans les boues d'épuration est à des teneurs faibles de l'ordre du $\mu\text{g/kg}$ de MS.

Cependant, au même titre que les ETM, les polluants organiques, peuvent devenir toxiques pour les micro-organismes des sols à haute dose ; or ces derniers sont indispensables à la fertilité des sols.

Ces polluants organiques, qui sont très peu ou pas toxiques pour les plantes (ils ne sont pas assimilables ou partiellement assimilable), se retrouvent comme contaminants superficiels

dans les pâturages, prairies, etc. et représentent donc un vrai risque de toxicité pour les humains et les animaux d'élevage. [21]

Tableau 4 : Concentration moyenne en polluants organiques [21]

Les polluants organiques	Concentration moyenne (g/t MS)	Valeur limite (g/t MS)
HAP :		
- Fluoranthène	0,53	5
- Benzo(a)fluoranthène	0,39	2,5
- Benzo(a)pyrène	0,31	2
les PCB	0,19	8

4.3. Les agents pathogènes :

Les boues d'épuration peuvent être porteuses d'agents pathogènes car même après une digestion, les boues ne doivent pas être mises en contact directe avec des végétaux susceptibles d'être consommés crus.

Les agents pathogènes les plus probables de trouver dans des boues sont : des bactéries (Salmonelles), des virus (l'Hépatite B), des protozoaires (Entamibes) et des helminthes (Ascaris). Une hygiénisation à la chaux permet de réduire considérablement le nombre de pathogène et ainsi minimiser les risques de contamination. [20]

Chapitre IV : Présentation de la station d'épuration de Réghaia

L'étude de la STEP de Réghaia repose sur la caractérisation de toutes les installations, en mettant en avant tout dysfonctionnement qui risquerait de nuire au bon déroulement du traitement des eaux usées.

L'intérêt de cette étude est également de montrer les avantages de la réhabilitation de cette STEP sur la qualité de l'eau traitée. Dans ce cadre nous avons étudié les possibilités de réutilisation des eaux épurées dans l'agriculture (irrigation) ainsi que les boues d'épuration comme amendements organiques.

1. Site réservé à la station :

La station est située dans la Wilaya d'Alger, à l'est, non loin de la mer méditerranéenne, l'installation est construite sur la rive gauche du lac de Réghaia, sur un terrain relativement plat. Le site est largement suffisant pour d'éventuelles extensions dans le futur.

2. Présentation de la STEP :

La station d'épuration de Réghaia est prévue pour traiter une partie des eaux usées de l'agglomération algéroise. Les rejets traités au niveau de cette station proviennent des communes de Rouiba, Réghaia et Ain taya, ainsi que les effluents de la zone industrielle de Rouiba-Réghaia qui représentent environ 30% de la charge hydraulique et entre 20 et 35% de la charge polluante totale. [22]

2.1. Caractéristiques :

Cette station fonctionne sur la base du procédé de boues activées à faible charge avec une dénitrification séparée.

La capacité théorique de la STEP est de 80.000 m³/j, correspondant à 263.000 eq. /hab, pour la première phase de traitement. L'emprise de la STEP offre une possibilité d'extension à 100.800 m³/j, correspondant à 500.000 eq /hab.

Caractéristiques des eaux d'entrées : Les eaux brutes sont caractérisées par des paramètres spécifiques ; débits d'entrée, charge de pollution, MES, MVS, DBO₅, DCO,

- Nature des eaux brutes : eaux résiduaires mixtes (urbaines et industrielles)

Tableau 5: Caractéristiques des eaux d'entrée [22]

• Débit :	• Caractéristiques :
Moyen : 3333 m ³ /h	DBO5 : 15800 Kg/j
Pointe temps pluie : 8118 m ³ /h	MES : 19960 Kg/j
Jour : 80000 m ³ /j	DCO : 28560 Kg/j
Pointe temps sec : 5022 m ³ /h	DCO/DBO : 1.8
	N/DBO : 0.12
	Pt : 540 Kg/j
	NTK : 1960 Kg/j

Caractéristiques des eaux de sortie : Les caractéristiques de l'effluent épuré seront les suivantes :

Tableau 6: Caractéristiques des eaux de sortie [22]

• DBO :	inférieur ou égale à 15 mg/L sur 24h
• MES :	inférieur ou égale à 20 mg/L sur 24h
• DCO :	inférieur ou égale à 50 mg/L sur 24h
• NGL :	inférieur ou égale à 10 mg/L sur 24h
• Ptot :	inférieur ou égale à 3 mg/L sur 24h

Ces valeurs de rejet tiennent compte des rendements d'élimination sur les ouvrages existants, à savoir 30% d'abattement de la DBO5, 60% d'abattement sur les MES et 12% d'abattement sur le phosphore.

En vu d'une politique de diminution de la pollution du lac de Réghaia, les eaux épurées sont rejetées dans ce dernier en tenant compte de l'autoépuration naturelle .

2.2. Ouvrages du traitement :

La filière de traitement comprend :

- Prétraitement mécanique :
 - Comptage
 - Dégrillage mécanique

- Dessableur-Déshuileur
- Décantation primaire
 - Ouvrage de répartition
 - Deux décanteurs primaires circulaires
 - Station de pompage des boues primaires
- Traitement biologique :
 - Deux bassins d'aération avec 3 aérateurs de surface chacun
- Décantation secondaire et pompage des boues en excès constitués :
 - Ouvrage de répartition
 - Deux décanteurs secondaires circulaires
 - Ouvrage de pompage des boues secondaires et de recirculation des boues en excès
 - Relèvement intermédiaire
- Filtration sur sable
 - Ouvrage de répartition (déversoirs)
 - Six filtres de formes rectangulaires
 - Station de lavage des filtres
- Traitement des boues
 - Recirculation des boues et évacuation des boues en excès
 - Ouvrage de répartition
 - Épaississement des boues (deux épaisseurs circulaires)
 - Stockage des boues
 - Déshydratation mécanique par centrifugation
 - Stockage des boues déshydratées.

3. Situation actuelle de la STEP :

La station d'épuration de Réghaia a subi une réhabilitation dans le but de la création de la filière biologique (inexistante). La réalisation de cette réhabilitation s'est vue offerte à la société WABAG VATEC sous la direction de la DHW d'Alger et ce dans le cadre du projet de dépollution du lac de Réghaia ; étant donné que les eaux épurées sont rejetées dans le lac.

Le contrat est de 46 mois et fait référence à la construction et la mise en place des ouvrages du traitement biologique et des équipements électroniques mais aussi de la gestion pendant deux ans de cette même station.

Ouvrages avant réhabilitation :

- Dégrillage
- Dessablage-déshuilage
- Décantation primaire
- Pompage des boues primaires
- Comptage et désinfection
- Epaissement des boues
- Déshydratation des boues sur bandes presseuses
- Stabilisation à la chaux.

4. Description des installations de la STEP

Les eaux acheminées à la station proviennent des réseaux de la commune de Réghaia, de types mixtes. Ces eaux usées sont d'origines urbaines et industrielles.

Un déversoir d'orage a été installé en tête de station pour la réception des eaux pluviales qui surpassent le débit limite d'entrée de la station de 8.118 m³/h. Il existe aussi un by-pass total des installations par manœuvre d'un batardeau contrôlant l'entrée générale de la station. Le comptage des eaux brutes se fait dans deux canaux Venturi existants. [22]

1. Le bassin d'orage :

C'est un bassin qui recueille les eaux d'entrées, lorsque le débit dépasse les capacités des collecteurs d'entrée (lors de crues). Les eaux en excès se déversent à travers les déversoirs d'orage et sont acheminées vers le bassin. Une pompe permet la récupération de ces eaux lorsque le débit revient à la normale pour le traitement.

2. Dégrillage :

Les eaux usées sont admises directement au poste de dégrillage. Ce dernier comporte deux dégrilleurs automatiques fins, du type courbe, montés dans des canaux de 1 m de large. Les refus sont évacués par convoyeur à bande vers une benne.

On remarque que le type de déchets est à prédominance plastique avec présence de feuillages et branches, mais la quantité est assez faible. [22]

- Largeur : 1 m
- Angle d'inclinaison : 65°
- Espacement entre les barreaux : 15 mm



Figure 7 : Dégrilleur

3. Dessablage-déshuilage :

Les effluents sont ensuite dirigés à travers un chenal en tête de trois dessableurs-déshuileurs. Chaque dessableurs-déshuileur à :

- Longueur : 28 m
- Largeur : 4 m

Dans la zone de dessablage, un mouvement vertical ascendant engendré par les bulles d'air combiné à l'avancement horizontal de l'eau créent un brassage.

Ce mouvement et ce brassage ont pour effet direct d'amener des matières plus légères c'est-à-dire les matières organiques et autres en suspension à flotter et empêcher ainsi leur sédimentation. Donc les sables décantent et sont retirés par le pont suceur de l'ouvrage. [22]

C'est dans la zone de déshuilage où l'on observe la flottaison des huiles et graisses entraînées à la surface par leur poids spécifique plus légères que l'eau et aidées par des bulles d'air fixées à ces matières.

On rencontre, dans le dessableur-déshuileur, la présence de filasse qui n'est pas retenue par le décanteur. L'accumulation de la filasse peut causer des dysfonctionnements dans les installations (pompes, bassins biologiques) de la station. La filasse est le nom commun donné aux fibres végétales. (Cette filasse provient de l'industrie de la tannerie)

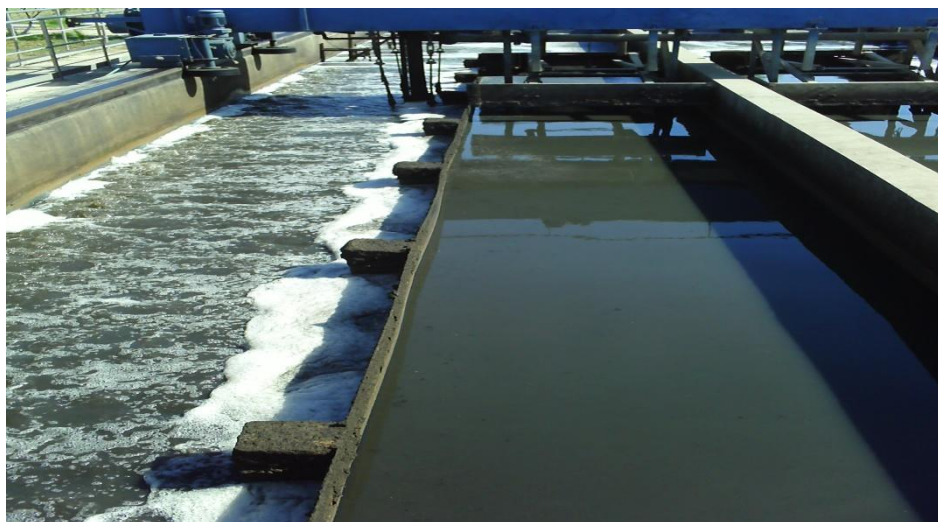


Figure 8 : dessableur-déshuileur

4. Décantation primaire :

A la sortie de l'ouvrage dessablage-déshuilage, les effluents prétraités sont répartis sur deux décanteurs primaires. Un by-pass de la décantation primaire est également possible.

Caractéristiques des bassins de décantation :

- Diamètre : 42 m
- Hauteur d'eau cylindrique : 2,6 m

Les boues décantées au fond de chaque ouvrage sont dirigées à l'aide des racleurs vers un puits central de collecte. Elles sont reprises par une tuyauterie les acheminant vers la bache de pompage des boues mixtes.

Les flottants pouvant se trouver à la surface des décanteurs primaires sont repris par une lame de surface du racleur qui les guidera progressivement vers un puits de reprises. [22]

Les eaux décantées (débarrassée de plus de 30% de la pollution carbonée organique) sont recueillies par sur verses dans une rigole périphérique pour être dirigées vers le traitement à boues activées. Des batardeaux installés dans les puits de sortie des décanteurs primaires rendent possible le by-pass du traitement biologique et de la filtration vers la désinfection. [22]

- Temps de séjours ; il dépend du débit d'entrée de l'effluent, qui est relativement bas, et avec un volume moyen de 4500 m^3 , ce qui engendre un temps de séjour de 3 à 5 h en moyenne. Temps suffisant pour une bonne décantation et ainsi assurer la disparition des métaux lourds de l'eau à épurer.
- Un seul décanteur est utilisé, car largement suffisant par rapport au débit.



Figure 9 : décanteur primaire de la station de Réghaia

5. Bassins d'aération :

Les eaux décantées arrivent par l'intermédiaire d'une tuyauterie à la chambre de répartition en amont des deux bassins à boues activées. Le traitement biologique se fait selon le principe de boues activées à faible charge associé à une dénitrification et une déphosphatation simultanée par l'injection d'un sel métallique. Le débit d'eau transféré vers le traitement biologique est indiqué et enregistré en salle de contrôle. [22]

Chaque bassin d'aération est cloisonné en quatre compartiments en série ayant les dimensions suivantes :

- Longueur : 46,30 m
- Largeur : 46,30 m
- Hauteur d'eau : 5,86 m
- Revanche : 0,70 m
- Hauteur des voiles : 6,56 m

En forme d'un « L », la zone de dégazage est rajoutée à l'extrémité de chaque bassin à boues activées.

a. *Chambre de répartition :*

La chambre de répartition où arrivent les eaux décantées et les boues de retour comprend deux rigoles en béton ; celles-ci possèdent deux lames déversantes chacune qui permet d'ajuster les débits dirigés vers chacun des bassins d'aération.

b. *Les bassins d'aérations :*

Aux nombres de deux, chacun disposent de quatre compartiments

- Le premier sert de zone de dénitrification, il est équipé d'un agitateur immergé qui produit un brassage optimal des eaux décantées, du sel ferrique (déphosphatation simultanée), des boues de retour et des boues de recirculation interne de la liqueur mixte.
 - Agitateur type submersible (axe horizontal)
 - Diamètre : 2,10 m
 - Vitesse de rotation : 50 rotations/min
 - Consommation d'énergie : 1 W/m³

- Les compartiments 2, 3 et 4 sont munis d'un aérateur de surface chacun, et ils communiquent entre eux formant un système de chicane permettant une meilleure circulation de l'eau mélangée aux boues de recirculation, la diminution des courts circuits hydraulique et d'assurer une oxygénation minimum lorsque tous les aérateurs ne fonctionnent pas en même temps. [22]
 - Aérateur de surface (axe verticale) muni d'un groupe d'entraînement et d'une turbine en rotation
 - Diamètre : 2,9 m
 - Capacité unitaire d'oxygénation : 207 kg O₂/ h

- Consommation d'énergie : 31,7 W/m³
- Capacité standard : 2,2 kg O₂/ kWh

Le dernier compartiment possède une lame de débordement des liqueurs mixtes vers la zone de dégazage.



Figure 10 : Bassin d'aération

c. Zone de dégazage :

La zone de dégazage est un bassin qui permet de réduire au minimum le taux de gaz emprisonné sous forme de fines bulles (oxygène et azote gazeux) dans l'effluent. L'incidence des ces bulles de gaz est de gêner la fonction (baisse de rendement) du clarificateur, car elles ont la capacité de s'adhérer aux boues et les faire flotter (gênent la décantation et augmentent la production d'écume). [22]

- Les pompes de recirculation : Installées à l'extrémité de chacune des zones de dégazage ; elles permettent la recirculation interne de la liqueur mixte chargée en nitrate (formés dans le compartiment d'aération) vers le compartiment de dénitrification. Le positionnement assure une recirculation minimum de l'oxygène dans la zone de dénitrification (strictement anoxique).

Le pompage des nitrates se déclenche automatique par rapport à la capacité effective de dénitrification. Ceci est déterminé par l'intermédiaire du débit d'entrée ou de la concentration de nitrate en aval des bassins à boues activées. [22]

- Taux de recirculation interne : 50% (débit moyen en temps sec)

➤ Taux de recirculation total : 250%

d. Contrôle et mesure de l'oxygène :

Les bassins d'aération sont, chacun, dotés d'une mesure de l'oxygène dissous pour la surveillance et le fonctionnement des aérateurs de surface (mise en marche et arrêt).

e. Déphosphatation simultanée :

Le phosphore soluble est éliminé simultanément par voie chimique en injectant une solution de 40% de chlorure ferrique (FeCl_3). Une station de stockage et de dosage du chlorure ferrique existe et dispose de tout l'équipement nécessaire à l'opération.

Le système de dosage dispose de trois pompes de transfert, dont une de secours, et deux tuyauteries reliant la station de stockage et les bassins d'aération,

Compartiment No 1 (zone de dénitrification). La zone de dénitrification a été choisie comme point d'injection car elle dispose d'un agitateur à opération continue qui assure un bon mélange du réactif. [22]

En raison des faibles charges polluantes du phosphore, la déphosphatation chimique n'est pas pratiquée, il y a une déphosphatation biologique qui est largement suffisante au vu des résultats des eaux épurées.

6. Décanteurs secondaire :

Le but de la clarification est la séparation de l'eau épurée des boues qu'elle contient, l'ouvrage est de forme cylindro-conique. La liqueur mixte introduite en son centre ; l'eau clarifiée déborde en périphérie dans une double goulotte de reprise et les boues se déposent sur le radier. L'alimentation centrale se fait par l'intermédiaire d'une jupe cylindrique et d'un système de diffusion des effluents, assurant une alimentation régulière et équirépartie des bassins sans perturbation du lit des boues. [22]

Chaque clarificateur a les dimensions suivantes :

- Diamètre : 58 m
- Hauteur d'eau à la périphérie de l'ouvrage : 3,10 m



Figure 11 : Un des deux clarificateurs

7. Filtration sur sable :

Les eaux traitées biologiquement puis décantées subissent une filtration sur sable afin de réduire les concentrations en matières en suspension résiduelles. [22]

L'admission de l'eau sur chaque filtre se fait par l'intermédiaire d'une vanne murale de dimension 500 x 500 mm à commande électrique. Après le passage de la vanne, l'eau se déverse dans les filtres. Les déversoirs ont pour but d'assurer une répartition régulière sur chaque filtre. Les filtres ont les dimensions suivantes :

- Nombre de filtres : 6
- Longueur d'un filtre : 13 m
- Largeur d'un filtre : 6,5 m
- Vitesse maximale de filtration : 10 m/h
- Nombre de buses/m² : 60
- Hauteur du matériel filtrant : 1,50 m
- Hauteur d'eau au dessus du filtre : 2m
- Taille effective du sable : 0,95 mm
- Coefficient d'uniformité < 1,5

L'eau qui a traversé le milieu filtrant est collectée et évacuée par une tuyauterie et une vanne à commande pneumatique de même diamètre vers le réservoir d'eau de lavage des filtres.

Pour assurer un niveau constant sur la couche filtrante, un système de réglage du niveau est prévu pour chaque filtre. Le système se compose d'une vanne papillon motorisée et d'une sonde de niveau ultrasonique située au dessus du plan d'eau du filtre.

Au cours d'un cycle de filtration, la vanne s'ouvrira progressivement compensant ainsi l'augmentation de la perte de charge dans le filtre qui se traduit par une montée de niveau détecté par la sonde. Ainsi, le degré d'ouverture donne une indication quant au colmatage du filtre.

Les cellules de filtration sont équipées d'un système de compensation automatique de colmatage de manière à obtenir un plan d'eau constant au-dessus du média de filtration quelque soit le degré d'encrassement du filtre. Il s'agit d'une régulation par l'amont assurée par le capteur de niveau à sonde ultrasonique associé à un régulateur à point de consigne réglable. Le signal analogique de celui-ci positionne la vanne de sortie d'eau filtrée du type papillon à moteur électrique de régulation.

L'opération de lavage des cellules de filtration est du type assisté à partir du pupitre des filtres. Chaque cellule peut être lavée séparément tout en continuant à produire le débit initial de traitement sur les autres filtres. Le lavage des filtres est un lavage à l'air et à l'eau. Le premier se fait par les surpresseurs d'air de caractéristiques :

- Débit unitaire 2538 m³/h
- Pression différentielle 500 mbar

Le second ; celui à l'eau se fait par les pompes de lavage de caractéristiques :

- Débit unitaire 1056 m³/h
- Hauteur manométrique 10 mbar

L'opération de lavage est composée des phases suivantes :

- Abaissement du plan d'eau
- Détassage de l'air
- Lavage air + petit débit d'eau
- Dégazage
- Lavage grand débit d'eau
- Remise à niveau

Chaque filtre est muni d'un indicateur de colmatage. Un système de sécurité est prévu pour ne laver qu'un filtre à la fois, et les opérations de lavage des filtres seront faites à partir du pupitre de commande de lavage, permettant de gérer à distance les séquences de lavage, la mise en service des surpresseurs et pompes, et l'indication du colmatage des filtres. [22]



Figure 12 : Filtre à sable, à droite remplie d'eau, et à gauche vide.

8. Traitement des boues :

La station des boues de Réghaia produit deux types de boues :

- Des boues primaires issues de la décantation primaire
- Des boues biologiques issues de la décantation secondaire

Les boues biologiques en excès sont acheminées vers les décanteurs primaires pour y être mélangées avec les boues primaires formant ainsi ce qu'on appelle des boues mixtes. Ces boues subissent trois traitements successifs :

- L'épaississement ;
- La déshydratation mécanique sur centrifugeuse,
- Une stabilisation chimique par ajout de chaux .

La qualité de boues biologiques produite est estimée à environ 23 000 kg MES/j. la concentration de ces boues oscille autour de 8 kg/m³. Deux pompes de capacité de 100 m³/h sont prévues pour transférer ces boues des décanteurs secondaires vers les décanteurs primaires. Les boues mixtes seront transférées vers l'épaississement par les deux pompes existantes de capacité 150 m³/h. [22]

Les boues seront épaissies dans deux épaississeurs :

- Diamètre : 18 m
- La concentration des boues épaissies : 40 kg/m³
- Débit de 573 m³/j.

Les boues épaissies sont transférées vers une bache de stockage avant de subir la déshydratation mécanique.



Figure 13 : Epaisseur

La déshydratation mécanique s'effectue au moyen de centrifugeuses. Quatre centrifugeuses sont disponibles, d'une puissance chacune de 3000 tr/min. Les boues à déshydrater sont mélangées à un polymère qui permet une meilleure compression des boues sans pour autant créer un colmatage. [22]

Les boues déshydratées sont ensuite dirigées vers une benne qui les transporte à la décharge.



Figure 14 : Centrifugeuse pour la déshydratation des boues

Le dispositif de chaulage, le silo de stockage et le mécanisme de mélange pour l'obtention du lait de chaux existent. Mais pour des raisons de gestion et de réhabilitation liées à la société SEAL, ce poste n'est encore entré en exploitation.

Conclusion :

Au terme de cette étude de la station (descriptif des installations), nous sommes en mesure de conclure que la réhabilitation par l'adjonction du traitement biologique, eu un effet plus que bénéfique pour le milieu extérieur et pour l'eau de sortie. Mais, cependant, des dysfonctionnements subsistent et notamment concernant le dimensionnement de la station. En effet, on remarque que les installations sont surdimensionnées par rapport au débit reçu par la station.

Ce faible débit peut s'expliquer par le manque de raccordement dans le réseau qui achemine l'eau à la station, mais aussi par les pannes fréquentes dans les stations de pompage et stations de relevages de la région (commune de Réghaia-Rouiba).

Chapitre V : Résultats et Interprétations

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats d'analyses effectuées et qui nous permettront et d'apprécier les changements faisant suite à la réhabilitation et également connaître la qualité des sous produits d'épuration (eau épurée et boue), en vue de leur éventuelle utilisation dans l'agriculture.

Les paramètres analysés sont ceux indispensables à la caractérisation de la boue produite et de l'eau épurée, et ils sont conditionnés par des normes internationales (OMS et FAO).

Avant réhabilitation :

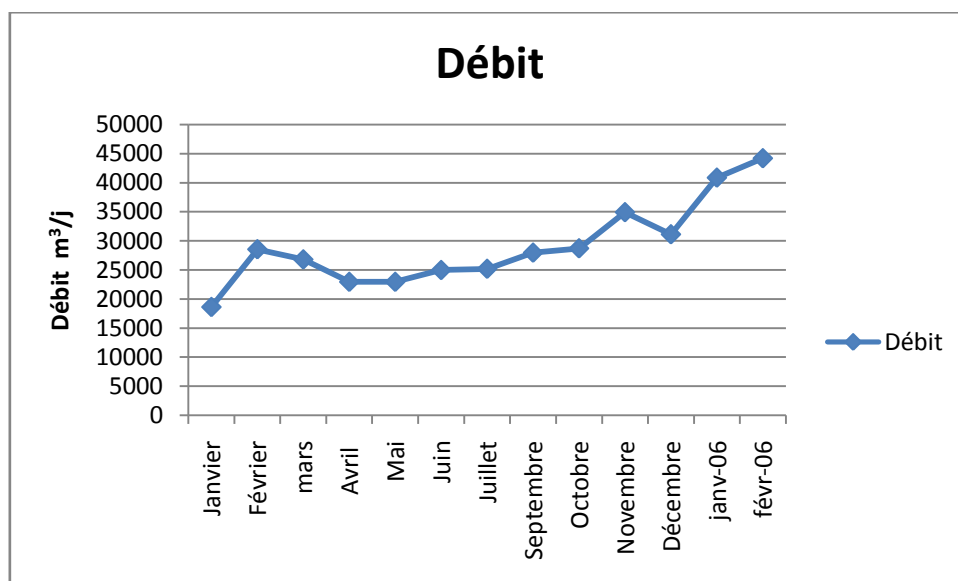
Nous rappelons que les installations présentes avant la réhabilitation : les prétraitements (**dégrilleur et dessableur-déshuileur**) et un décanteur primaire. Plus une désinfection au chlore.

A. Les eaux épurées :

1. Les débits :

Le comptage du débit se fait en tête de station par un canal de comptage (sonde introduite dans le canal mesurant le débit entrant à la station).

Les valeurs des débits sont très faibles, correspondant aux perturbations au niveau des réseaux d'acheminement des eaux vers la station et également aux pannes dans les stations de relevage et de pompage.



Graphe 1 : Evolution du débit

2. La température :

La température des eaux usées dépend énormément du climat de la région. Aucune restriction liée à la température n'est enregistrée .

3. Le pH :

Le pH des eaux d'entrées et de sortie de la station ne représente pas un obstacle pour le processus d'épuration (prétraitements et décantation primaire) car il ne se situe pas dans un domaine critique. Il est de l'ordre pH (moyen des eaux épurées) = 8,4.

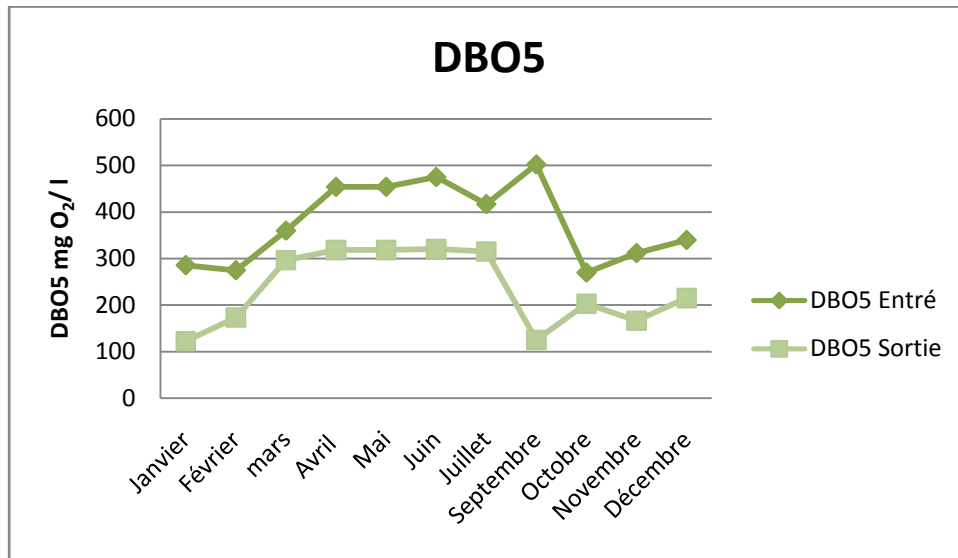
Le caractère légèrement basique de ces eaux n'influence pas (pas ou très peu d'impacts sur les eaux naturelles) le milieu récepteur de ces eaux qui est le lac de *Réghaia*.

4. La Demande Biochimique en Oxygène :

La demande biochimique en oxygène de l'eau reflète la capacité des micro-organismes à survivre et se développer dans un milieu quelconque. Les valeurs de la DBO pour l'eau épurée sont assez élevées et représentent une charge polluante importante et des risques potentiels de contamination bactérienne.

Les valeurs de la DBO enregistrées dépassent de loin la norme établie par l'OMS qui est de : 40 mg de O₂/l alors que la moyenne de DBO de l'eau épurée de la STEP de Réghaia est de : 214,7 mg/l.

On en conclut que, avant la réhabilitation, le rendement d'épuration de 37% ,en moyenne, ne permettait pas de respecter la conformité par rapport aux normes prescrites (OMS).



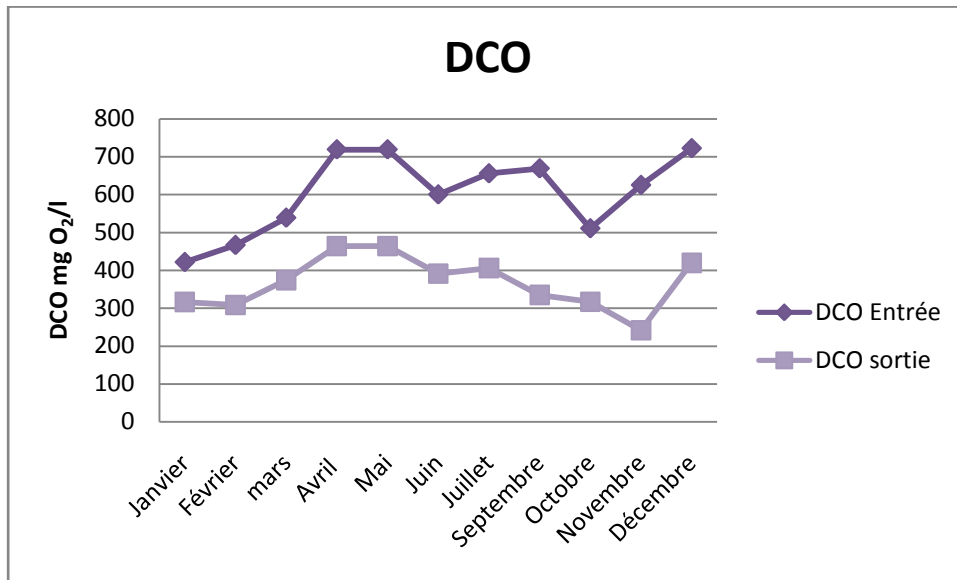
Graph 2 : les valeurs de DBO à l'entrée et à la sortie de la station

5. La Demande Chimique en Oxygène :

La DCO est un des paramètres qui aident à apprécier la pollution des eaux. La décantation primaire seule ne suffit pas à l'élimination de la pollution organique des eaux usées urbaines, ce qui est illustré par le graphe 3, montrant l'évolution de la DCO à l'entrée et à la sortie de la STEP. On remarque une diminution très faible par rapport aux concentrations à l'entrée.

La valeur moyenne de la DCO est de 353,4 mg/l à la sortie. Cette valeur est très éloignée de celle imposée par l'OMS pour le rejet des eaux épurées.

Le rendement d'épuration pour la DCO ne dépasse pas les 40% (très insuffisant compte tenu des valeurs à l'entrée).



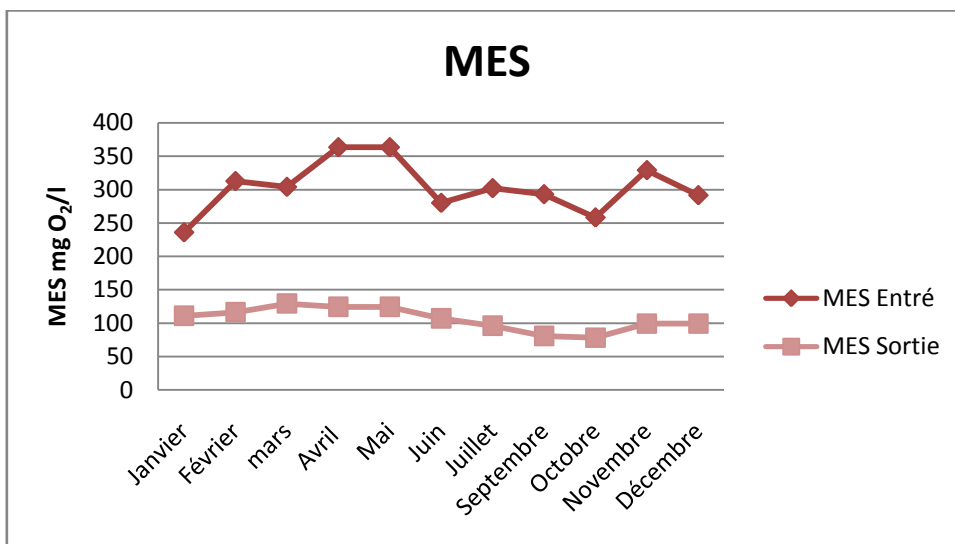
Graphe 3 : la DCO à l'entrée et à la sortie de la STEP

6. Les Matières En Suspension :

On remarque que les rendements de l'élimination des matières en suspension est plus important que les autres paramètres (DCO et DBO5) et ce car la décantation primaire permet un abattement de la pollution carbonée ; les MES plus particulièrement, de plus de 60%.

Mais cela reste insuffisant concernant les normes par rapport aux rejets de la STEP.

Le rendement des MES est de 65% en moyenne.



Graphe 4 : Les MES à l'entrée et à la sortie de la STEP

B. Les boues d'épuration :

La quantité de boues produites est de $332,68 \text{ m}^3/\text{j}$. Les boues traitées sont des boues primaires d'une qualité médiocre, car elles ne contiennent que très peu de matières sèche ; en moyenne 10%. Donc comme finalité de traitement chaulage et déshydratation sont plus convenues pour des boues mixtes stabilisées et épaissies (provenant des décantations primaires et secondaires).

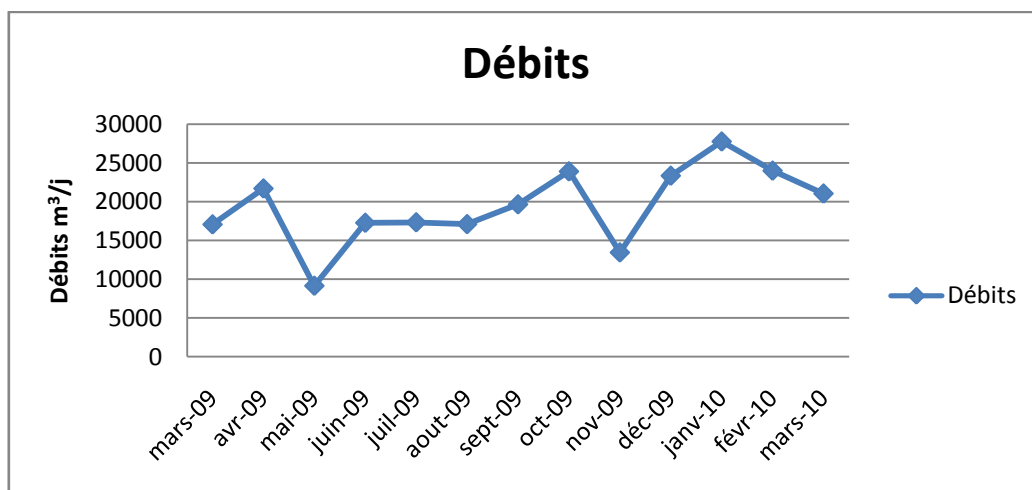
Après réhabilitation :

1. Les eaux épurées :

1.1. Les débits entrants et sortants :

Concernant les valeurs des débits, ils restent très en dessous des prévisions projetées dans le cadre du dimensionnement qui sont de $3333 \text{ m}^3/\text{h}$, or les moyennes des débits enregistrées sont inférieures à cette valeurs.

On peut expliquer ces valeurs de débits très en dessous des prévisions par le manque de raccordement dans les réseaux acheminant les eaux usées ou bien des pannes dans les stations de relevage.



Graph 5 : les débits moyens des eaux entrant dans la station.

1.2. Les paramètres physico-chimiques :

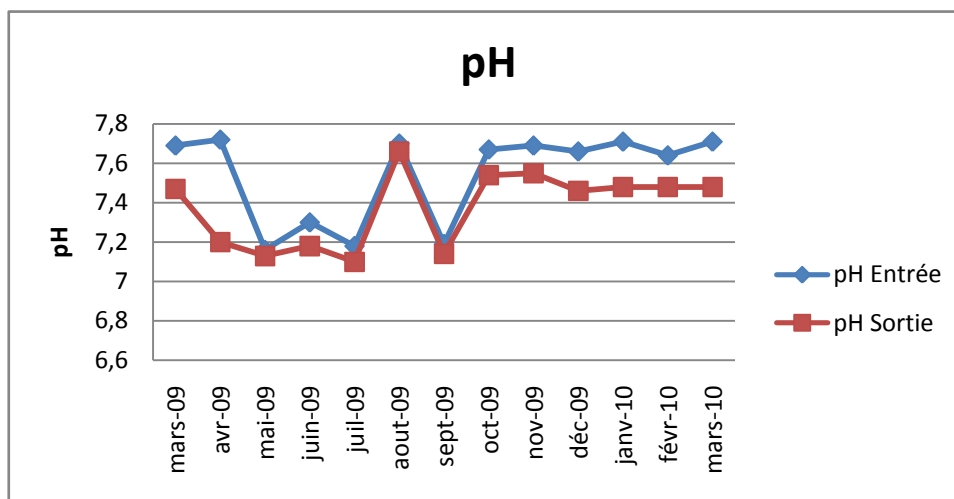
1.2.1 Le pH : Le pH mesure la concentration des ions H^+ dans l'eau. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Les valeurs extrêmes du pH altèrent la

croissance et la reproduction des microorganismes existants dans une eau, la *plupart des* bactéries peuvent croître dans une gamme de pH comprise entre 5-9, l'optimum est situé entre 6,5 et 8,5, des valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 affectent la croissance et la survie des micro-organismes aquatiques selon l'organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Tableau 7 : tableau récapitulatif des pH de l'eau brute et de l'eau traitée tout au long de l'exploitation de la station après sa réhabilitation.

Date	pH	
	Entrée	Sortie
Mars. 09	7,69	7,47
Avr.09	7,72	7,2
Mai. 09	7,16	7,13
Juin. 09	7,3	7,18
Juil. 09	7,18	7,1
Aout. 09	7,7	7,66
Sept. 09	7,19	7,14
Oct. 09	7,67	7,54
Nov. 09	7,69	7,55
Déc. 09	7,66	7,46
Janv. 10	7,71	7,48
Févr. 10	7,64	7,48
Mars - 10	7,71	7,48

- Le pH moyen des eaux usées brutes (pH= 7, 54) ne présente aucun risque sur le fonctionnement de la station notamment sur la biomasse épuratrice.
- Le pH moyen des eaux épurées de 7,37 permet la réutilisation des eaux épurées de la station de Réghaia en irrigation.



Graph 6 : Illustration des fluctuations du pH des eaux de sortie et d'entrée

1.2.2 La température : elle représente l'élément météorologique qui influe sur la concentration de l'oxygène dissout dans l'eau ; qui diminue avec l'augmentation de la température et l'activité des micro-organismes épurateurs.

Tableau 8 : Récapitulatif des températures

Date	Température °C	
	Entrée	Sortie
Mars. 09	16,35	16
Avr. 09	14,48	14,9
Mai. 09	23,5	26,15
Juin. 09	25,91	26,1
Juil. 09	30,55	30,01
Aout. 09	25,92	25,85
Sept. 09	28,43	28,08
Oct. 09	21,46	21,01
Nov. 09	18,7	18,99
Déc.09	23,5	24,6
Janv. 10	17,2	17,49
Févr.10	19,71	20,13
Mars. 10	17,2	17,49

1.2.3 La salinité :

La salinité représente la teneur en sel et minéraux solubles dans l'eau. C'est un indicateur de la qualité des eaux et également un paramètre important dans le domaine de la réutilisation des eaux épurées en agriculture (irrigation).

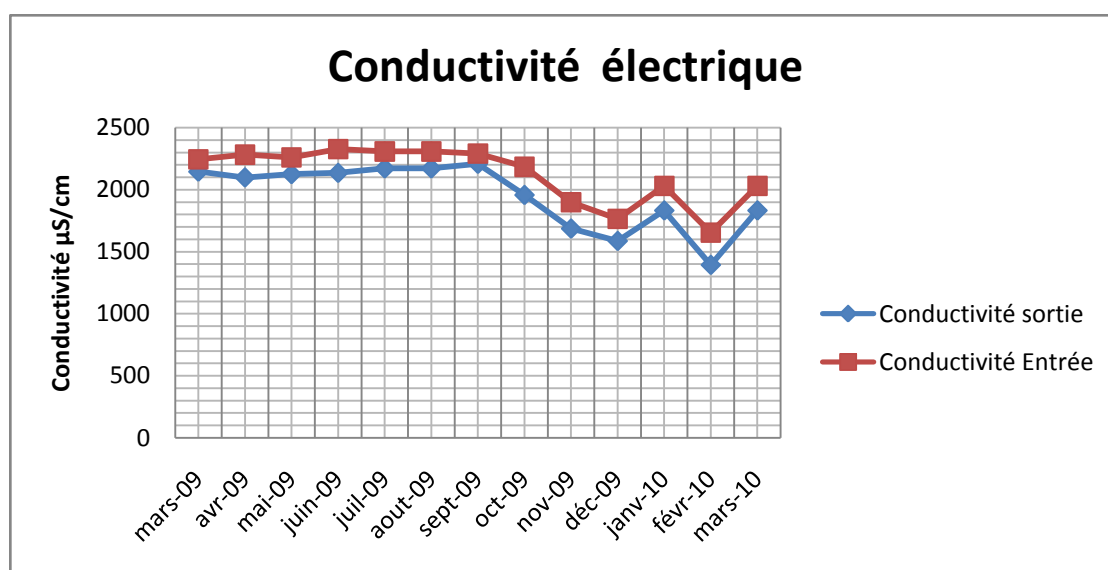
Comme indicateur de la salinité ; le sodium et spécifiquement le SAR (coefficient d'absorption du sodium) c'est-à-dire le magnésium et le calcium et la conductivité électrique. A partir de ces deux paramètres.

La conductivité électrique :

La conductivité électrique représente le taux de sels solubles et des minéraux présents qui véhiculent l'électricité, elle est mesurée en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Le graphe ci-dessous représente les fluctuations de la conductivité de l'eau d'entrée de station et à la sortie après traitement. Après traitement, on remarque bien une diminution de la conductivité même de faible quantité cela reste un changement qui allège le milieu récepteur en minéraux. La conductivité des eaux usées brutes (CE= 2120,846 $\mu\text{S}/\text{cm}$) est généralement supérieur à celle des eaux épurées (CE = 1948,15385 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

La valeur usuelle de la conductivité des eaux usées domestiques normalement concentrées est de 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les résultats des prélèvements de la station de Réghaia montrent des valeurs de CE très élevées, cela nous renseigne sur la qualité de l'eau potable utilisée, et sur des activités industrielles qui contribuent à l'élévation de CE des eaux usées.



Graph 7 : évolution de la conductivité électrique de l'eau d'entrée et de sortie de station.

Mesure de la minéralisation :

Tableau 9 : La méthode de calcul de la minéralisation

Conductivité $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation mg/l
Conductivité $< 50 \mu\text{S/cm}$	1.365079. conductivité
Conductivité [50 à 166] $\mu\text{S/cm}$	0.947658. conductivité
Conductivité [166-333] $\mu\text{S/cm}$	0.769574. conductivité
Conductivité [333-833] $\mu\text{S/cm}$	0.715920. conductivité
Conductivité [833-10000] $\mu\text{S/cm}$	0.758544. conductivité
Conductivité $> 10000 \mu\text{S/cm}$	0.850432. conductivité

- La minéralisation (EB) = $0.758544 \times 2120,84 = 1608,75 \text{ mg/l}$

- La minéralisation (EE) = $0.758544 \times 1948,15 = 1477,75 \text{ mg/l}$

La minéralisation de l'eau $> 1500 \text{ mg/l}$ ce qui est légèrement supérieur à la limite de l'acceptable,

- *Le SAR (taux d'absorption du sodium) :*

Le sodium :

La valeur moyenne du sodium est de 500 mg/l pour les eaux non filtrées, et elle est de $312,5 \text{ mg/l}$ pour l'eau filtrée.

Elle est inférieure à la norme OMS (920 mg/l), donc le sodium ne représente aucun obstacle pour l'utilisation des eaux traitées de la STEP de Réghaia dans l'irrigation.

Le calcium :

En comparant la valeur de la teneur en calcium des eaux épurées qui est de $259,2 \text{ mg/l}$ avec la norme limite attribuée par la FAO (1985) pour les eaux épurées destinées à l'irrigation (400 mg/l), on retient que la concentration du calcium des eaux épurées de la station de Réghaia est conforme à cette norme et ne présente aucune restriction quant à l'utilisation des ces eaux épurées dans l'irrigation.

Le magnésium :

En comparant la valeur de la concentration du magnésium dans les eaux épurées de la station qui est de 68,1 mg/l avec la norme donnée par l'OMS (1989) qui est de 70,75mg/l pour les eaux destinées à l'irrigation, on en conclut que la teneur en magnésium dans l'eau épurée de la station ne présente aucun danger pour la réutilisation des eaux épurées en irrigation, mais il est nécessaire d'effectuer des analyses concernant ce paramètre régulièrement pour prévenir tous risque potentiel de pollution.

Le SAR :

C'est le critère d'efficacité des eaux pour l'irrigation, il exprime le rapport de la teneur en sodium à la teneur du calcium et magnésium. SAR= 3,91

- Pour l'eau de sortie avec filtration SAR= 3,91
- Pour l'eau de sortie sans filtration SAR = 6,04

D'après les recommandations de la FAO(1985), la valeur indiquée pour l'eau filtrée (SAR=3,91) n'impose aucune restriction pour l'utilisation de cette eau en irrigation. Par contre l'eau qui n'est pas filtrée SAR = 6,04, cette eau peut être utilisée pour des cultures résistantes à une forte salinité

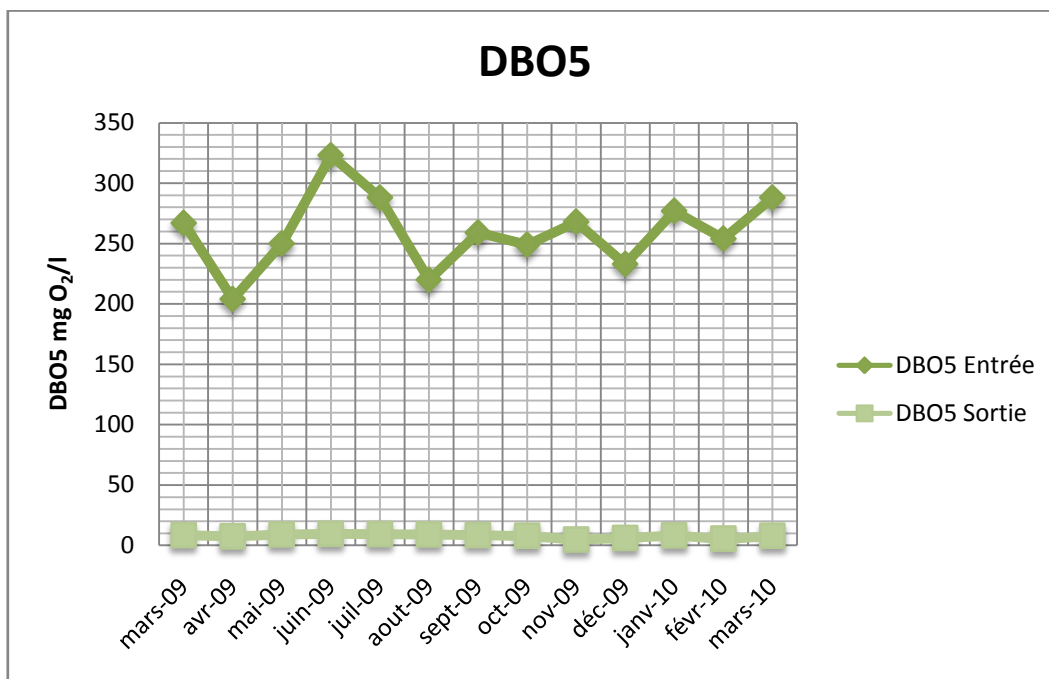
1.3. Les paramètres organiques :

1.3.1 La Demande Biochimique en Oxygène(DBO5) :

La demande Biochimique en Oxygène (DBO) c'est la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement des micro-organismes, pendant 5 jours à 20 °C, on parle alors de la DBO5. Elle est très utilisée pour le suivi des effluents urbains. Elle est exprimée en mg O₂/l.

La valeur moyenne de la DBO5 est de 260 mg O₂ /l ce qui confirme que les eaux usées de la station sont à dominance domestique.

L'OMS(1989) limite la DBO5 à moins 10 mg O₂/l pour la réutilisation des eaux épurées en irrigation; la valeur moyenne de 7,76 mg O₂/l pour les eaux à la sortie de la station de Réghaia répond à cette recommandation. Le rendement d'élimination de la DBO5 de l'épuration est de 96,98 %, ce qui signifie que l'élimination de la pollution organique est efficace.



Graphe 8 : évolution et la différence entre l'eau d'entrée et de sortie de station pour la DBO5.

1.3.2 La Demande Chimique en Oxygène (DCO) :

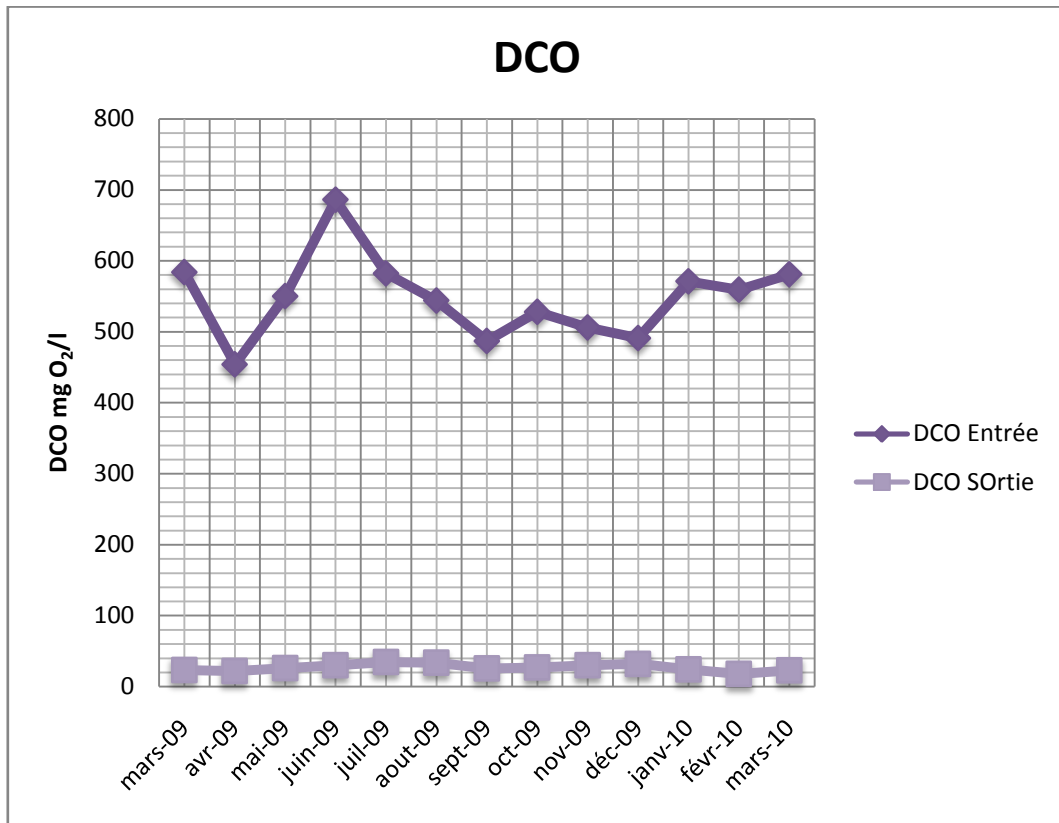
La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant, le bichromate de potassium. Ce paramètre offre une représentation plus ou moins complète des matières oxydables présentes dans l'échantillon. Elle est exprimée en mg O₂/l.

Généralement la DCO est 1,5 à 2 fois la DBO5 pour les eaux usées urbaines et de 1 à 10 pour l'ensemble des eaux résiduaires industrielles.

La valeur moyenne de la DCO des eaux usées brutes est de l'ordre 547,92 mg O₂/l, comprise dans la fourchette de 300 à 1000 mg O₂/l selon OIE(2008), ce qui confirme le caractère urbain à dominance domestique de l'eau usée.

La DCO moyenne des eaux après traitement est de 26,89 mg O₂/l, inférieur à la norme (<40 mg O₂/l) fixée par la OMS(1989), ce paramètre ne présente donc pas de contre indication quant à l'utilisation de ces eaux en agriculture.

Le rendement d'élimination de la DCO est de l'ordre de 95% ce qui prouve l'efficacité du traitement biologique à boues activées.



Graph 9 : évolution et la différence entre l'eau d'entrée et de sortie de station pour la DCO.

Rapport de biodégradabilité "K" :

- **Le rapport $\frac{DCO}{DBO5}$** : plus ce rapport est élevé, plus e l'effluent contient des molécules non biodégradables, l'inverse est vrai.

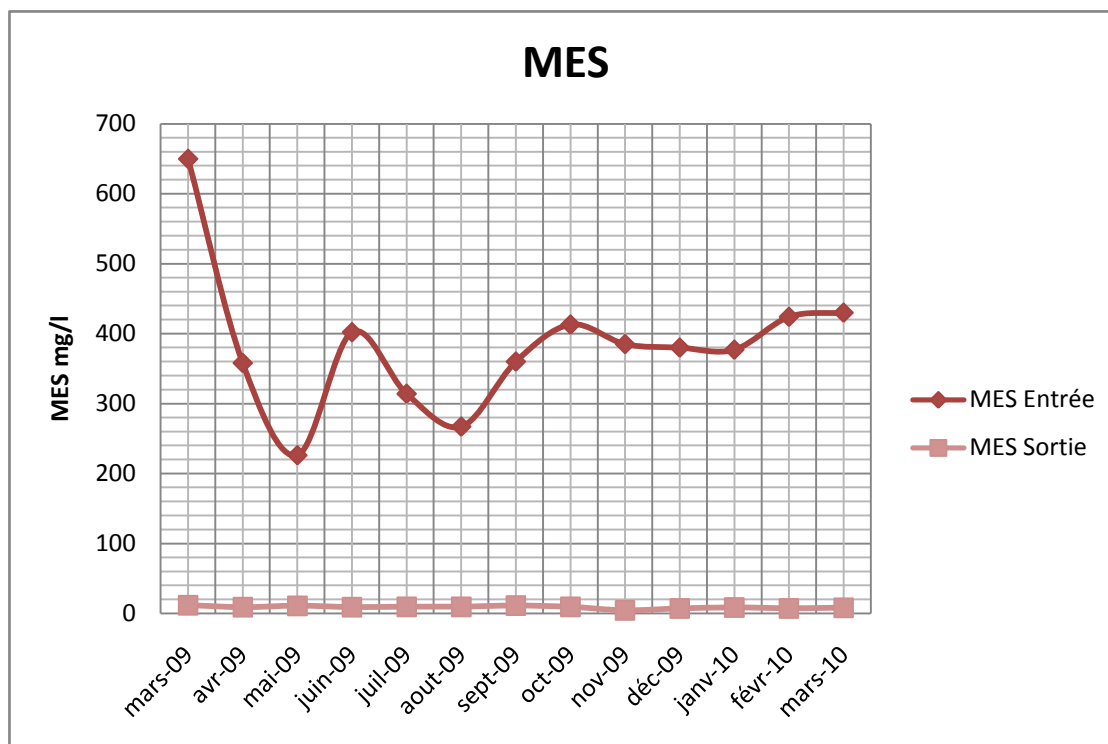
- $1,7 < \frac{DCO}{DBO5} < 2 \rightarrow$ Effluent très biodégradable
- $2,2 < \frac{DCO}{DBO5} < 2,5 \rightarrow$ Effluent biodégradable
- $\frac{DCO}{DBO5} > 5 \text{ à } 10 \text{ et } \rightarrow$ Effluent peu biodégradable

Le rapport : $\frac{DCO}{DBO5} = \frac{547,9}{260} = 2,105 \rightarrow$ Effluent très biodégradable.

1.3.3 Les Matières En Suspension :

La concentration en moyenne des MES reçues par la station est de 383,53 mg/l ;

Le rendement d'élimination moyen des MES de l'ordre de 97,5 %. La concentration en MES de l'eau épurée est en moyenne de 8,95 mg/l, ce qui répond à la norme de réutilisation des eaux épurées en agriculture d'après la recommandation de l'OMS (1989).

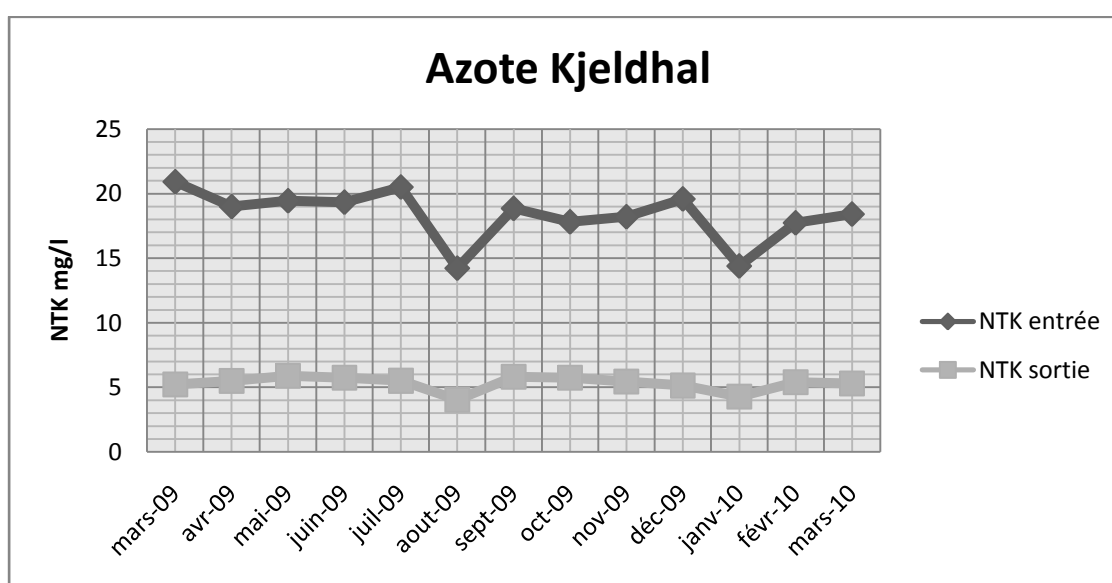


Graph 10 : évolution et la différence entre l'eau d'entrée et de sortie de station pour les MES.

1.4. Les matières azotées :

Le NTK :

La présence de matières azotées dans l'eau d'entrée de la station relève généralement des effluents urbains ; riche en azote organique et azote ammoniacal qui sont représentés par l'azote Kjeldhal.



Graph 11 : les concentrations d'entrée et de sortie de l'azote Kjeldhal

Au vu des résultats obtenus, et du graphe ci-dessus, l'élimination de l'azote organique et du NH_4^+ est importante, avec un rendement moyen de 71%.

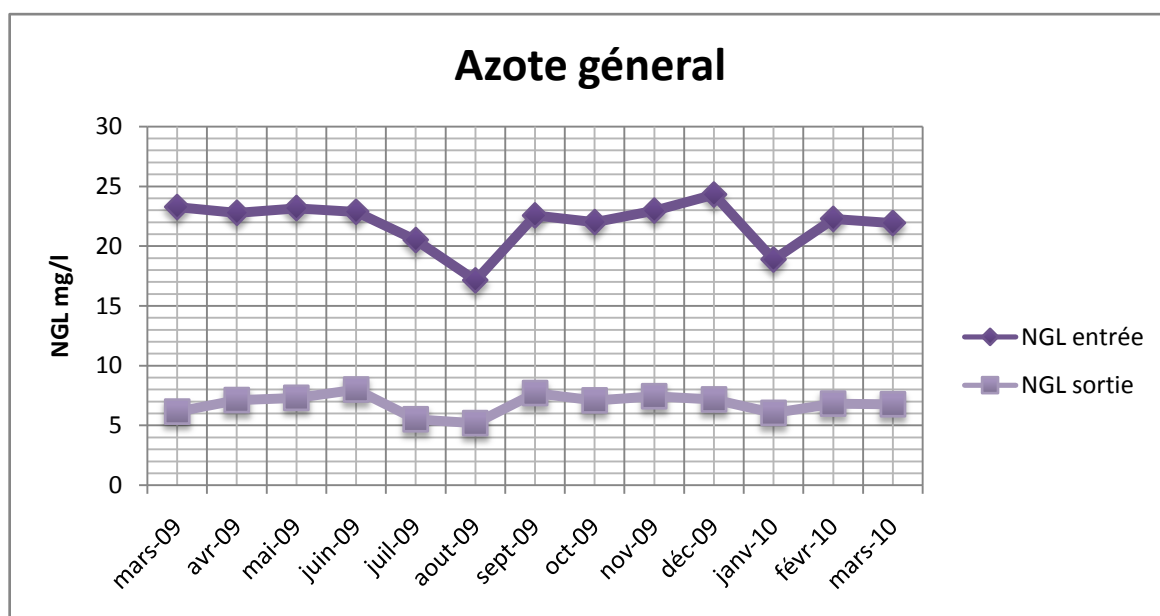
La concentration de sortie de de l'azote Kjeldhal, 5,29 mg/l, obéit aux normes de l'OMS.

Le NGL(azote globale) :

Au cours du traitement l'azote organique se minéralise en azote ammoniacal, et celui là même est transformé en nitrites puis nitrates via la nitrification.

Donc pour éviter que les eaux de sortie de station ne soient trop chargées en nitrates (éléments indésirables dans le milieu naturel, en excès) il y a une dénitrification qui transforme les nitrates en azote gazeux.

Le NGL représente l'azote global qui englobe l'azote Kjeldhal (azote organique et ammoniacal) et les formes oxydées (nitrites te nitrates).



Graphe 12 : Le graphe ci-dessus représente l'évolution de la moyenne de l'azote général au cours du temps

La différence des valeurs concernant l'azote global et l'azote Kjeldhal représente les formes oxydées de l'azote : nitrites et nitrates.

Les valeurs nitrites plus nitrates calculées sont mentionnées dans le tableau ci-dessous :

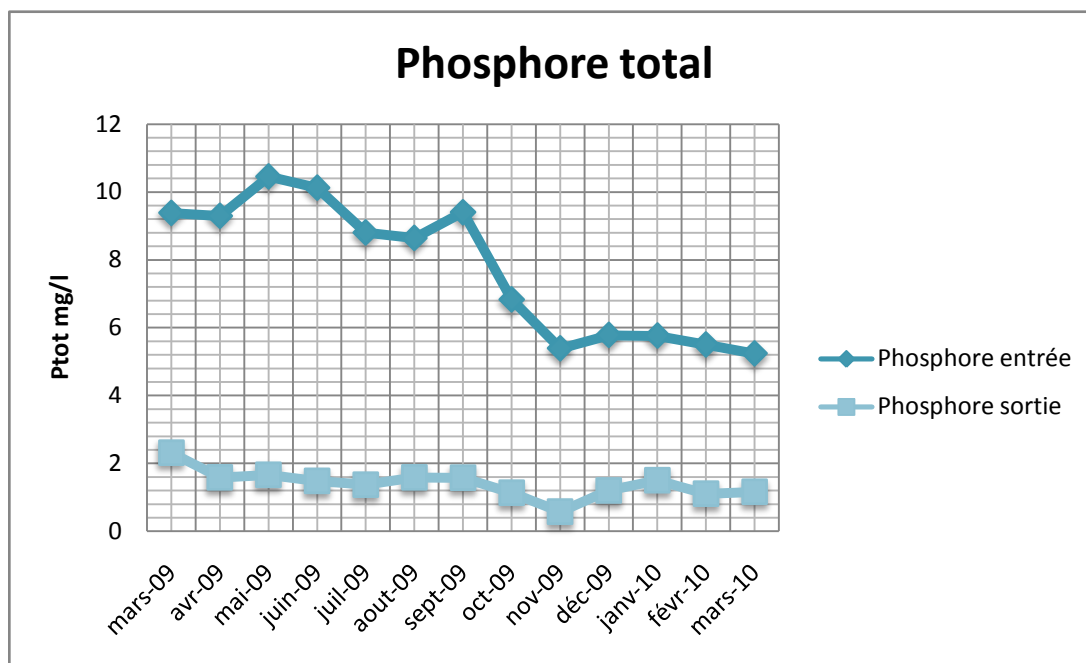
Tableau 10 : concentration et rendement d'élimination des (NO₃-NO₂)

Date	Concentration (NO ₃ -NO ₂) à la sortie	Rendement d'élimination des (NO ₃ -NO ₂)
Mars. 09	1,27	73,11272
Avr. 09	0,92	75,0478
Mai. 09	1,64	71,15789
Juin. 09	1,42	69,76864
Juil. 09	2,27	70,37229
Aout. 09	2,02	73,18381
Sept. 09	1,15	71,67955
Oct. 09	1,9	69,19406
Nov. 09	1,36	67,84512
Déc.09	1,99	70,1263
Janv. 10	2,03	73,81317
Févr.10	1,77	70,27778
Mars. 10	1,43	69,61669

Les concentrations en nitrites-nitrates enregistrées sont en dessous des normes préconisées par l'OMS et la FAO.

1.5. Phosphore total :

Malgré la méthode biologique de déphosphatation (la station prévue pour une déphosphatation chimique mais la concentration d'entrée très faible pour la méthode chimique) ; les résultats obtenus en sortie de station sont satisfaisants. Nous avons obtenu un rendement d'élimination du phosphore de 81% en moyenne.



Graph 13 : élimination du phosphore des eaux dans la STEP de Réghaia

Les analyses bactériologiques :

Le volet bactériologique n'est pas à négliger notamment dans le cadre de la réutilisation des eaux épurées. En effet, les normes de l'OMS impliquent une restriction en ce qui concerne certains micro-organismes pathogènes.

Les résultats des analyses microbiologique montrent :

Tableau 11 : Représentation des résultats moyens des analyses bactériologiques des eaux usées et épurées de la station.

Micro-organismes	Concentration eau non filtré UFC/ 100 ml	concentration eau filtrée UFC/ 100 ml	Normes (OMS) recommandées pour la réutilisation en irrigation
Coliformes totaux	240	150	/
Streptocoques fécaux	150	100	<1000
Salmonelle	Présence	Présence	Absence

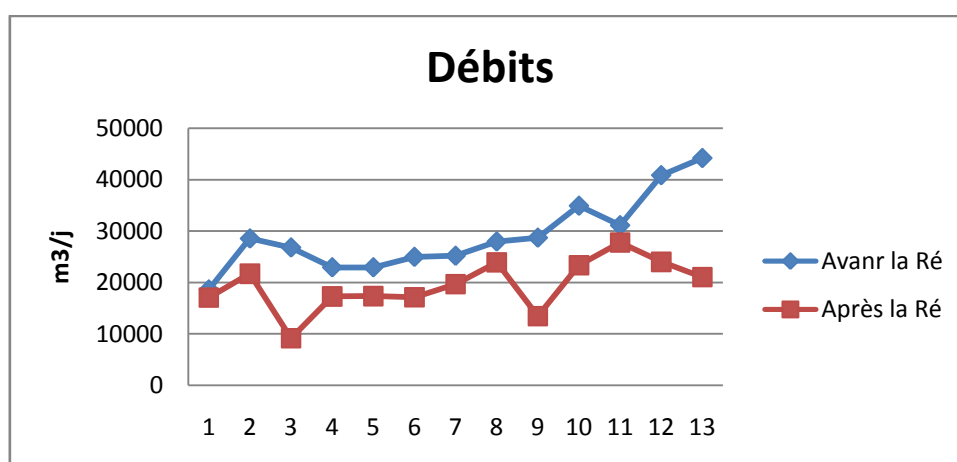
Les résultats d'analyses bactériologiques révèlent la diminution significative du nombre de bactéries en UFC/100ml après le traitement par filtration sur sables, excepté pour les salmonelles, dont la contamination est significatif et doit être éliminée.

- On remarque que malgré cette diminution, le nombre de germes pathogènes restent supérieures aux normes de l’OMS.

Comparaison entre les résultats de l’épuration avant et après la réhabilitation :

Les changements effectués au sein de la STEP, durant la réhabilitation, ont apportés des améliorations considérables concernant la qualité des eaux rejetées.

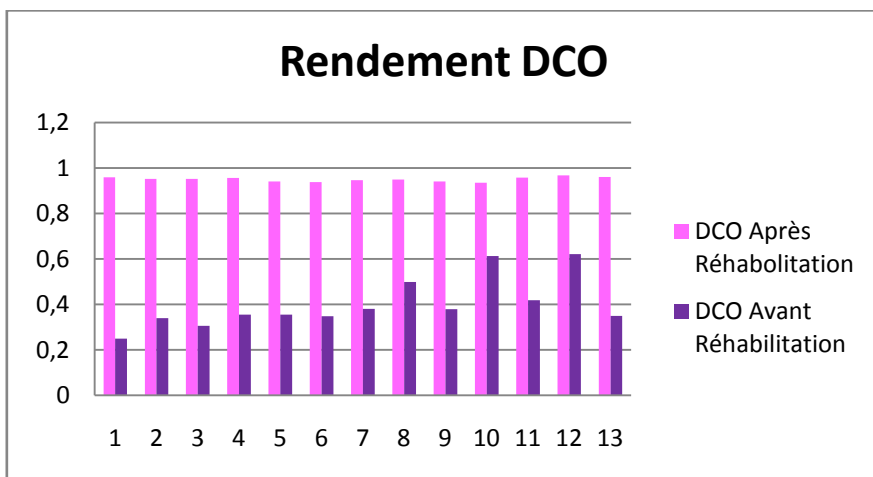
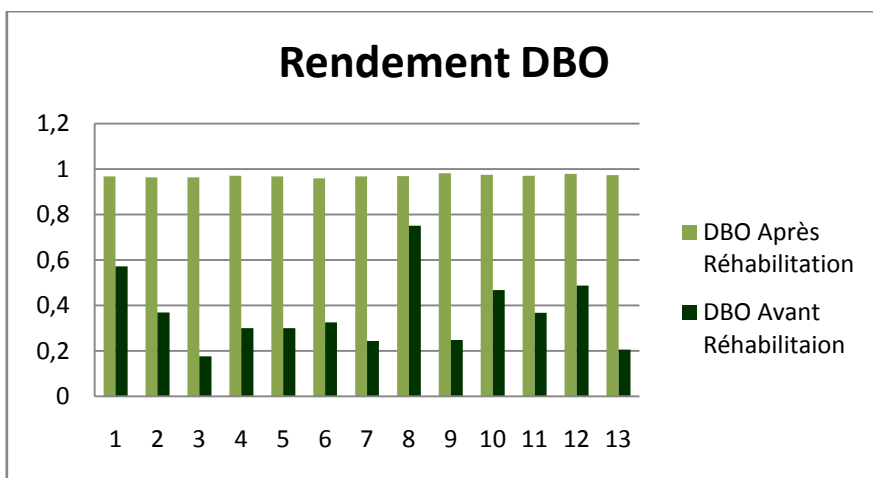
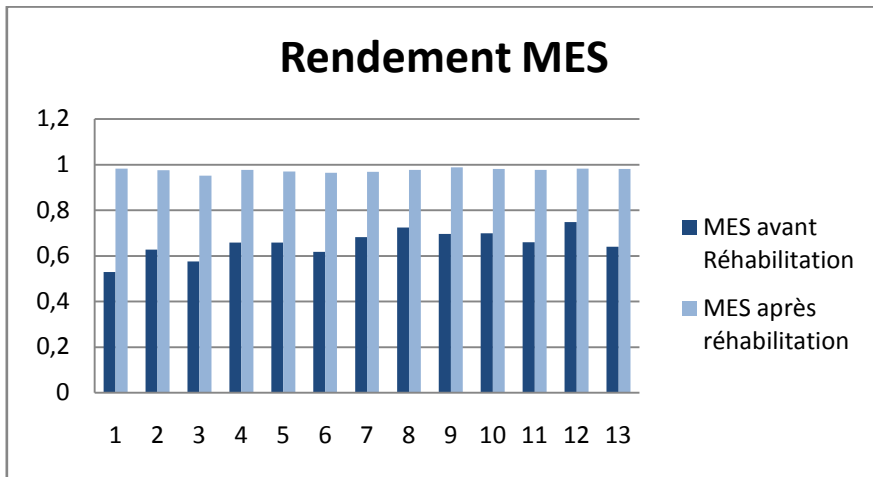
- ❖ Certain paramètres comme la température, le pH et le débit ne sont pas affectés par la réhabilitation car ils ne dépendent pas des installations rajoutées. On remarque pour le débit une légère baisse à l’entrée de la station, cela peut s’expliquer par un mauvais ou manque de raccordement dans le réseau qui achemine l’eau vers la station. Il a été mentionné (dans le chapitre précédents) que le problème de la station vis-à-vis du débit (surdimensionnement) peut être causé par un manque de raccordement dans le réseau, une panne des stations de pompage ou dans les stations de relevage.



Graphie 14 : Comparaison entre les débits entrants avant et après la réhabilitation

Pour la température et le pH on ne remarque pas de changement important car ils dépendent essentiellement de la saison pour la température et de l’eau d’entrée (sources) pour le pH.

- ❖ Concernant les principaux indicateurs de la pollution des eaux (DCO, DBO, MES), on remarque une nette amélioration de l’élimination de ces paramètres ce qui nous pousse à dire que la cause de ces améliorations n’est autre que la partie biologique (bassin d’aération à boues activées combiné à la décantation secondaire ou clarificateur)



Les trois graphes ci-dessus représentent l'évolution des rendements des paramètres de pollution de l'eau avant et après la réhabilitation. On note très nettement l'évolution positive des rendements et ce grâce à l'ajout du bassin biologique.

- ❖ Concernant la pollution azotée et phosphorée, le manque de donnée avant la réhabilitation ne nous permet pas de comparer mais il est évident, vu les installations existantes avant la réhabilitation, que la pollution azotée et phosphatée n'étaient pas prises en compte. Donc la réhabilitation apporte également un plus concernant ce volet de la pollution.

Conclusion :

A partir des résultats obtenus pour l'eau de sortie de la station de Réghaia, on peut déjà en conclure que l'amélioration de la qualité de l'eau est significative par suite de la réhabilitation. En conséquence les normes de rejets sont respectées (normes de l'OMS).

La réhabilitation a aussi une conséquence bénéfique sur la qualité de l'eau épurée dans le cas de sa réutilisation dans l'irrigation.

Les eaux épurées de la station de Réghaia contiennent des quantités légèrement supérieures à la normes en phosphores et en nitrates. Cependant, ces eaux pourront être utilisées en agriculture sous certaines réserves. Pour l'élimination totale des germes pathogènes, une désinfection des eaux à la sortie s'impose.

Ces eaux, rejetées dans le lac, représenteront un risque potentiel par rapport à l'eutrophisation du lac de Réghaia. Nous remarquons que le poste de déphosphatation chimique existe dans la station, mais ce dernier n'a pas été utilisé pendant la période de notre étude

2. Les boues d'épuration :

Les boues produites avant et après réhabilitation sont différentes de part leur qualité et leur quantité.

Tableau 12 : paramètres de comparaison

Paramètres	Boues avant réhabilitation	Boues après réhabilitation
Quantité (m ³ /j)	332,68	500
MO (%)	13	34
Siccité (%)	/	35

La richesse des boues en éléments fertilisants :

L'épandage des boues s'accompagne d'un apport non négligeable de fertilisants.

Tableau 13 : résultats des analyses des boues

Le Carbone ‰	216
L'Azote ‰	14,5
K (potassium)	48 mg/ 100 g
P (phosphore)	2220 mg/ 100 g
Ca (calcium)	8 mg/ 100 g
Mg (magnésium)	12 mg/ 100 g
siccité	35%

La siccité :

La siccité représente le taux de matière sèche (en pourcentage massique) par rapport à l'humidité, dans les boues d'épuration. Les boues de la STEP de Réghaia montrent un pourcentage de la siccité de 35%, ce qui implique un taux d'humidité de plus de 65%.

Les boues se révèlent solides (siccité de 35%).

Rapport carbone sur azote :

La valeur du rapport C/N= 14.89, indique un certain équilibre par rapport à la production d'azote et la décomposition (dégradation) de la matière organique. Ceci révèle un état optimal pour l'activité des micro-organismes.

Le phosphore :

Les boues contiennent 2220 mg/100 g de boues sèches, cette valeur est convenable, comparée à l'attente en matières fertilisantes des plantes. Cette valeur résulte de la déphosphatation biologique qui se produit dans le bassin biologique et qui ne convient pas à ce type d'eau (industrielles et urbaines).

Le potassium :

La richesse des boues en potassium est négligeable, ce cation demeure dans les eaux épurées. Les boues de la STEP ont une concentration de la matière sèche de 0,048%. Cette valeur est faible comparée aux concentrations de ce même élément dans le compost urbain et le fumier

de ferme. L'épandage de fortes doses de boues ne dispense donc pas l'agriculteur d'apporter un engrais minéral potassique.

Le calcium :

La valeur moyenne de cet élément dans la boue de Réghaia est de 0,008% de la MS.

Les teneurs en calcium très faible. Malgré le caractère secondaire du calcium dans le développement des plantes, il figure dans le groupe d'éléments nécessaire à la croissance des plantes. Le calcium intervient dans la formation du complexe argilo-humique.

Le magnésium :

La concentration en magnésium des boues de la STEP de Réghaia est assez faible 0,012% de la MS. Des expériences culturales conduites sur sol carencé en magnésium ont permis de confirmer que les boues pouvaient fonctionner comme engrais magnésiens efficaces.

Les éléments traces métalliques :

Certains de ces éléments se trouvent naturellement dans le sol, comme le fer, le zinc, le cuivre, etc. et sont indispensables à la croissance des plantes, alors que d'autres sont apportées par l'homme et peuvent avoir des conséquences fâcheuses.

Le taux de contamination des métaux lourds vers les plantes est inférieur à 1 % des quantités apportées sur les sols. Mais selon la nature des eaux épurées, la teneur en certains éléments dans les boues peut s'élever considérablement. Les apports répétés de boues par épandage pourrait, à long terme, provoquer dans les sols des accumulations pouvant dépasser le seuil de toxicité.

Les éléments traces métalliques ont une origine industrielle (Cd, Ni, Hg, Cr), domestique (Cd, Cu, Pb) et pluviale (Ni, Pb, Zn). Les métaux les plus toxiques sont Cd, Hg et Pb car ils constituent des contaminants stricts et leur accumulation dans les sols agricoles provoque un danger pour la plante et pour l'homme.

Tableau 14 : Concentration moyenne en éléments traces métallique des boues d'épuration

Eléments	Concentration en (mg/kg de MS)	Valeurs limites (mg/kg de MS)
Cadmium	0,142	20
Chrome	136,71	1000
Cuivre	2,11	1000
Nickel	1,542	200
Plomb	3,528	800
Zinc	132,28	3000

Les résultats consignés dans le tableau ci-dessus montrent que les teneurs en éléments traces métalliques dans la boue sont suffisamment faibles et ne constituent donc pas un facteur limitant son utilisation en agriculture.

Mais malgré cela, il est important de procéder à une étude concernant,

Les oligo-éléments :

Ces éléments sont essentiels à la plante, quoiqu'en quantités très minimes. Leur action est très complexe et les causes de carences sont, en général, reliées à leur insolubilisations dans le sol, le plus souvent à cause d'un pH trop alcalin ou trop acide.

Tableau 15 : concentration en oligo-éléments

Eléments	Concentrations mg/ kg MS
Cobalt	0,428
Fer	796,42

- ***Le cobalt (Co)***

Oligoélément important pour certains processus végétaux. Il sert de cofacteur d'enzyme et de constituant de la vitamine B12. Le cobalt est essentiel à la fixation de l'azote. La teneur moyenne est de 10 mg de Co par kilogramme de sol, mais peut être comprise entre 1 et 300. Il est absorbé par les racines des végétaux sous la forme de Co^{2+} [28].

Les boues étudiées présentent une concentration en Cobalt de 83,25 mg/Kg de boue, valeur non toxique pour le sol et la plante.

- **Le fer :**

Il est présent dans tous les sols, et il a une action enzymatique importante. Son seuil de toxicité ne semble pas avoir été trouvé mais lorsque le pH est trop faible ou trop fort, il se fait un blocage pour les autres ions.

Carence :

Insuffisance du fer dans le système sol/plante. Une carence en fer apparaît en premier lieu au niveau des jeunes feuilles. Un jaunissement de la partie se trouvant entre les nervures des feuilles apparaît - caractéristique couramment connue sous le nom de chlorose ferrique. Dans une carence sérieuse, les feuilles deviennent pâles en raison d'une perte de chlorophylle.

Tableau 16 : Comparaison des caractéristiques essentielles des boues résiduaires urbaines à celle du fumier de ferme et du compost urbain (mg/l)

Eléments	Boues déshydratée STEP Réghaia	Boues déshydratées STEP Béni Messous	Fumier	Compost urbain
C	21,6	22,6	36,2	18
N	1,45	2,216	2,2	1,7
K	0,048	5,552	2,8	0,03
P	2,2	0,048	1,3	2,7
C/N	14,89	8,65	16,45	10,6

La comparaison des caractéristiques moyennes des échantillons des boues urbaines

Avec le compost et le fumier de ferme, permet les remarques suivantes :

- Les boues urbaines sont moins riches en potasse et en phosphore que le fumier de ferme, ou le compost, mais le rapport C/N est plus optimal pour la décomposition des matières organiques.
- Les boues d'épuration contiennent une quantité moins importante d'azote par rapport au compost urbain.

- Par contre le fumier de ferme parait plus équilibré pour les éléments considérés.

Conclusion :

Les boues d'épuration de la STEP de Réghaia ont des caractéristiques proches de celles du fumier excepté, pour les éléments nutritifs qui sont en moindres proportions.

Ces boues couvrent partiellement les besoins en éléments fertilisants et notamment en ce qui concerne le phosphore et l'azote, mais un apport d'une fumure minérale conséquent permettra de compléter les besoins nutritifs des plantes.

Les caractéristiques des boues, et notamment le pourcentage de matières organique, sont dû à une stabilisation partielle qui se produit dans le bassin d'aération.

Les concentrations en métaux lourds présents dans ces boues sont dû aux rejets industriels non traités ou mal traités à la source ; notamment ceux de SNVI et ceux de la Tannerie dont les polluants (chrome, zinc, filasse) se retrouvent dans les eaux usées et par la suite dans les boues.

Chapitre VI : Conclusion générales et recommandations

Au terme de cette étude et au vu des résultats obtenus concernant les eaux et la boue de la STEP de Réghaia, on est en droit d'apporter certaines recommandations par rapport à l'usage de ces produits de station dans l'agriculture.

1. L'eau épurée :

La station d'épuration de Réghaia produit quotidiennement deux types d'eaux épurées ; celles rejetées vers le lac qui n'est pas filtrée, et celles pour l'usage interne de la station (lavage, arrosage, etc.). Ces deux types d'eau épurée sont de très bonne qualité concernant les normes de rejets des STEP dictées par les institutions internationales (OMS et FAO).

- ❖ Concernant les normes liées à l'utilisation en agriculture (en irrigation), il s'avère que l'eau filtrée est plus en conformité avec ces normes et notamment concernant le SAR = 3,91, cette caractéristique combinée avec la conductivité électrique CE = 1948,15 $\mu\text{S/cm}$ peut, à l'aide du diagramme de Riverside classer l'eau épurée comme suit : **Degré : 3**

Qualité : Admissible

Classe : C3-S1

- ❖ Pour le volet bactériologique, il est nécessaire de procéder à une chloration, car les germes pathogènes représentent un risque de contamination pour l'homme et les animaux, une désinfection au chlore semble donc convenir à ce genre de contamination bactériologique.
- ❖ A l'issue de cette étude, on peut proposer deux différents types d'usages des eaux usées épurées pour l'irrigation, cependant, il faut associer chaque type à des recommandations physicochimiques et microbiologiques selon les deux classes suivantes :
 - types d'usage 01(eau filtrée) : (Vergers, cultures céréalières et fourragères, pépinières, prairies de pâtures ou de fauche).
 - types d'usage 02 (eau non filtrée) : (Forêt, espaces verts d'accessibilités limités ou interdites et autres espaces similaires)

- ❖ Nous recommandons, pour les eaux épurées filtrées, une utilisation sans restriction pour tous types de cultures, excepté les fruits et légumes et particulièrement les cultures sensibles à la salinité.
- ❖ Par contre, pour les eaux non filtré, une utilisation plus stricte et ce concernant particulièrement les plantes sensibles à la salinité.

Les eaux épurées de la station de Réghaia s'avèrent donc une opportunité qui contribue à la diminution du déficit en eau d'irrigation.

Les boues d'épuration :

Les résultats obtenus à l'issue de l'étude, montrent que les boues résiduaire issues de la station d'épuration de Réghaia présentent des qualités et des caractéristiques permettant une valorisation en pépinières forestières sous certaines conditions.

Une utilisation, en proportion partagé avec du compost urbain, qui apporte la cellulose et la lignine indispensables à la formation de l'humus, permettra d'améliorer la qualité des boues d'épuration.

L'utilisation de ce mélange sur le sol serait très avantageuse, car elle permet de préserver la fragilité écologique des sols et la reconstitution du complexe argilo-humique indispensable à la fertilité du sol.

Cet emploi ne pourra être effectué qu'en dépit du respect des normes concernant les concentrations en métaux lourds. Pour cela, on recommande un chaulage, à la fois pour la stabilité des métaux lourds (éviter la solubilité des métaux en milieu basique), et en même temps la chaux permet d'hygiéniser les boues.

En ce qui concerne la pollution industrielle, nous recommandons de compléter l'étude par une enquête sur les sources de pollutions potentielles afin de responsabiliser les industries polluantes, qui ont le devoir et l'obligation traiter leurs effluents en respectant les normes de rejet.

L'application du principe pollueur-payeur doit être rigoureusement appliquée.

Dans ce cas, la qualité des eaux épurées et des boues sera meilleure.

Bibliographie :

- [1] : F. Molle, « Risque-t-on de manquer d'eau sur terre », CRDP Montpellier, (2001).
- [2] : « traitement des eaux usées », Surfeider-Europe.
- [3] : A. Gaid, « Epuration biologique des eaux usées urbaines », OPU (1984).
- [4] : J.C. Boeglin, « Traitement biologique des eaux usées résiduaires », (1998).
- [5] : B. Chocat, J.L. Bertrand, « Eaux pluviales, urbaines et rejets urbains », Technique de l'ingénieurs, (2007).
- [6] : P. Putz, « Paramètre de l'azote : nitrification, dénitrification »,
- [7] : J.L. Courent, « Réduction de l'azote et du phosphore contenu dans les eaux usées urbaines », (2001).
- [8] : B. Boutin, « Traitement des eaux usées », (1984).
- [9] : Cours techniques de l'ingénieur.
- [10] : S. Boumont, « Réutilisation des eaux usées épurées et risques sanitaires et faisabilité », ENSAT, Ile-de- France, (2001).
- [11] : A. Douaouia, « Impact de l'irrigation sur la dégradation des sols », Editeurs scientifiques, (2008).
- [12] : I. Couture, « Analyse d'eau pour fin d'irrigation », MAPAQ, Montérégie
- [13] : A. Bourg, « Solibilité des métaux lourds », (1986).
- [14] : A. Hassani, « Effet de la salinité sur l'eau », European journal of scientific research, p 61 (2008).
- [15] : O. Bougueroua, « Communication de l'hydraulique agricole », Ministère des Ressources en Eau d'Algérie, (2009).
- [16] : A. Gaid, « Traitement des boues », Technique de l'ingénieur, (2008).
- [17] : J. Jaroz, « Le traitement des boues d'épuration », Centre de formation sur l'environnement, Paris.
- [18] : M. Guittounny, « valorisation d'un compost de boues urbaines », (2004).
- [19] : M.Nakib : Contribution à l'étude des possibilités d'utilisation des eaux et boues d'épuration dans l'agriculture : Cas des affluents urbains et de laitières, (1983)
- [20] : F.X. Stadelman, « Les boues d'épuration : engrais ou déchets », EAWAG News.

[21] : A. Dudkowski, « L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines », INRA, (2001)

[22] : Ministère des Ressources en Eau, Direction des ressources hydriques, « Descriptif de fonctionnement et d'exploitation de la STEP de Réghaia ».

[23] : www.mre.gov.dz

[24] : www.ona.dz.org

[25]: www.ademe.fr/partenaires/boues/

[26]: www.hc-sc.gc.ca

Annexe 1 : les tableaux de mesures.

Comporte tous les tableaux qui ont permis l'élaboration des graphiques dans le documents principale.

I. Bilan de la station avant réhabilitation :

Les eaux :

Tableau 1 : Le débits, la température et le pH

Mois	Débit m ³ /j	pH	Température °C	
			Entrée	Sortie
Janvier 2005	18610	7,9	17,9	16,7
Février 2005	28540	8	17,9	15,5
Mars 2005	26792	8,9	17,5	19,4
Mai 2005	22935	8,9	19,8	17,2
Juin 2005	22935	8,6	19,8	23,7
Juillet 2005	24967	7,9	26	23,9
Septembre 2005	25179	8,7	27,3	27,3
Octobre 2005	27955	8,7	23,8	23,6
Novembre 2005	28700	8,7	23,8	18,3
Décembre 2005	34912	7,5	19,2	15,1
Janvier 2006	31116	7,5	17,5	15
Février 2006	40857	7,3	15,5	15,2

Tableau 2 : La DBO5, la DCO et les MES

Mois	Entrée			Sortie		
	MES mg/l	DBO mg l	DCO mg/l	MES mg/l	DBO mg/l	DCO mg/l
Janvier 2005	235,8	286	421,5	111	122,5	316,4
Février 2005	312,7	275	466,6	116,4	173,5	308,5
Mars 2005	304	360	538,7	129,2	296,6	374,1
Mais 2005	363,5	454	719,2	124,2	318	463,8
Juin 2005	363,5	454	719,2	124,3	318	463,8
Juillet 2005	280	475	600,2	107	320,4	391,1
Septembre 2005	302,1	417	655,8	96,1	315,2	406
Octobre 2005	293	502	669	80,7	125	335
Novembre 2005	258,1	270	510,6	78,3	203	316,8
Décembre 2005	329,1	312	625,1	99,2	166,3	241,9
Janvier 2006	291,5	340	722,2	99,2	215	419,7
Février 2006	440,6	193,4	530,4	111,3	99,2	200,7
Janvier 2005	275,7	150,5	547,9	99,1	119,5	356,5

Les boues : **Tableau 3 : les boues**

Mois	Débit m ³ /j	MS m ³	MO m ³	Nbr de benne
Janvier-05	335,3	9,5	46,8	29
Février-05	358,5	9,8	43,74	2
mars-05	309,3	10,7	38,9	3,5
Avril-05	328,1	8,04	48,8	2
Mai-05	394,1	7	50,5	1,8
Juin-05	365,1	7,7	50,5	5
Juillet-05	304,1	7,8	50,4	4
Septembre-05	378,5	9,5	48,2	2,5
Octobre-05	373	8	53,4	6
Novembre-05	311	9,6	44,2	4
Décembre-05	242	13	34,2	4
janv-06	242,2	12,1	35,6	1,5
févr-06	383,7	11,8	36,1	3

II. Bilan de la station après la réhabilitation :

Les eaux :

Tableau 4 : Valeurs des paramètres température, pH, conductivité et débit

Mois	Débit m ³ /j	Température °C		pH		Conductivité électrique µS/cm	
		Entrée	Sortie	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
mars-09	17068	16,35	16	7,69	7,47	2243	2144
avr-09	21702	14,48	14,9	7,72	7,2	2281	2097
mai-09	9147	23,5	26,15	7,16	7,13	2260	2124
juin-09	17272	25,91	26,1	7,3	7,18	2326	2134
juil-09	17336	30,55	30,01	7,18	7,1	2307	2170
aout-09	17101	25,92	25,85	7,7	7,66	2307	2170
sept-09	19654	28,43	28,08	7,19	7,14	2291	2207
oct-09	23902	21,46	21,01	7,67	7,54	2183	1956
nov-09	13449	18,7	18,99	7,69	7,55	1898	1685
déc-09	23347	23,5	24,6	7,66	7,46	1763	1585
janv-10	27760	17,2	17,49	7,71	7,48	2030	1831
févr-10	23998	19,71	20,13	7,64	7,48	1652	1392

Tableau 5 : La DBO5, la DCO et les MES

Mois	Entrée			Sortie		
	MES mg/l	DBO mg/l	DCO mg/l	MES mg/l	DBO mg/l	DCO mg/l
mars-09	650	267	584	11,77	8,47	23,53
avril .09	358	204	454	8,93	7,4	21,93
mai-09	226	250	550	11	9	26,00
juin-09	402	323	686	9,03	9,5	30,23
juil.-09	314	288	582	9,65	9,29	34,55
aout-09	267	220	544	9,68	9	33,55
sept-09	360	259	487	11,19	8,54	25,77
oct.-09	413	249	528	9,35	7,77	27,03
nov.-09	385	268	506	4,47	4,73	30,04
déc.-09	380	233	491	7,16	6,06	32,13
janv.-10	377	277	571	8,52	8,06	24,06
févr.-10	424	254	559	7,39	5,39	17,93
mars-10	430	288	581	8,29	7,77	22,94

Tableau 6 : l'azote Kjeldhal (NTK), l'azote général (NGL) et le phosphore total (Ptot)

Mois	Entrée			Sortie		
	NTK mg/l	NGL mg/l	Ptot mg/l	NTK mg/l	NGL mg/l	Ptot mg/l
mars-09	19,34	22,36	9,38	5,2	6,47	2,31
avr-09	20,92	23,26	9,29	5,22	6,14	1,58
mai-09	19	22,78	10,45	5,48	7,12	1,66
juin-09	19,45	23,17	10,12	5,88	7,3	1,48
juil-09	19,34	22,86	8,8	5,73	8	1,37
aout-09	20,51	20,51	8,64	5,5	5,5	1,58
sept-09	14,23	17,13	9,4	4,03	5,18	1,57
oct-09	18,86	22,56	6,83	5,81	7,71	1,13
nov-09	17,82	22,01	5,39	5,73	7,09	0,57
déc-09	18,21	22,96	5,78	5,44	7,43	1,2
janv-10	19,59	24,31	5,76	5,13	7,16	1,5
févr-10	14,4	18,87	5,5	4,28	6,05	1,1
mars-10	17,74	22,28	5,24	5,39	6,82	1,16

Tableau 7 : les rendement d'épuration avant et après réhabilitation

MES		DCO		DBO5	
Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
0,529262	0,981892	0,249348	0,959709	0,571678	0,968277
0,627758	0,975056	0,338834	0,951696	0,369091	0,963725
0,575	0,951327	0,30555	0,952727	0,176111	0,964
0,658322	0,977537	0,355117	0,955933	0,299559	0,970588
0,658047	0,969268	0,355117	0,940636	0,299559	0,967743
0,617857	0,963745	0,348384	0,938327	0,325474	0,959091
0,681893	0,968917	0,380909	0,947084	0,244125	0,967027
0,724573	0,977361	0,499253	0,948807	0,750996	0,968795
0,696629	0,98839	0,379553	0,940632	0,248148	0,982351
0,698572	0,981158	0,613022	0,934562	0,466987	0,973991
0,659691	0,977401	0,418859	0,957863	0,367647	0,970903
0,74739	0,982571	0,621606	0,967925	0,487073	0,97878
0,640551	0,980721	0,349334	0,960516	0,20598	0,973021

Tableau 8 : caractéristiques des boues d'épuration

Date	MS mg/l	MVS %	siccité %
01/03/2010			
02/03/2010	76,72	42,21	34,3
03/03/2010			
04/03/2010	70,82	46,5	39,35
05/03/2010			
06/03/2010			
07/03/2010	68,93	44,6	34,1
08/03/2010			
09/03/2010	74	50	34,3
10/03/2010			
11/03/2010	73,24	49,31	34,2
12/03/2010			
13/03/2010			
14/03/2010	61,6	48,6	34,1
15/03/2010			
16/03/2010	59,28	46,6	33,9
17/03/2010			
18/03/2010			34,4
19/03/2010			
20/03/2010			
21/03/2010			34,6
22/03/2010			
23/03/2010	78,71	40,93	34,3
24/03/2010			
25/03/2010			33,8
26/03/2010			
27/03/2010			
28/03/2010			
29/03/2010	73,68	34,5	39,84

Tableau 9: Classification des eaux d'irrigation d'après le diagramme de Riverside.

Degré	Qualité	Classe	Observation
1	Excellente	C1-C2	Utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures et sur la plupart des sols
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	- Exige des plantes tolérantes au sel et des sols à bonne perméabilité ; - Déconseillé au sol à forte d'échange d'ions.
3	Admissible	C3-S1	- Exige drainage des sols et contrôle de l'évolution de la salinité ; - Déconseillé aux sols à faible perméabilité.
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	- Eau fortement minéralisée ; - Exige des cultures suffisamment tolérantes aux sels ; - Exige des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Ne convient pas à l'irrigation; Peuvent être utilisées pour des sols très perméables, très bien drainés et lessivés et pour des plantes très tolérantes aux sels.

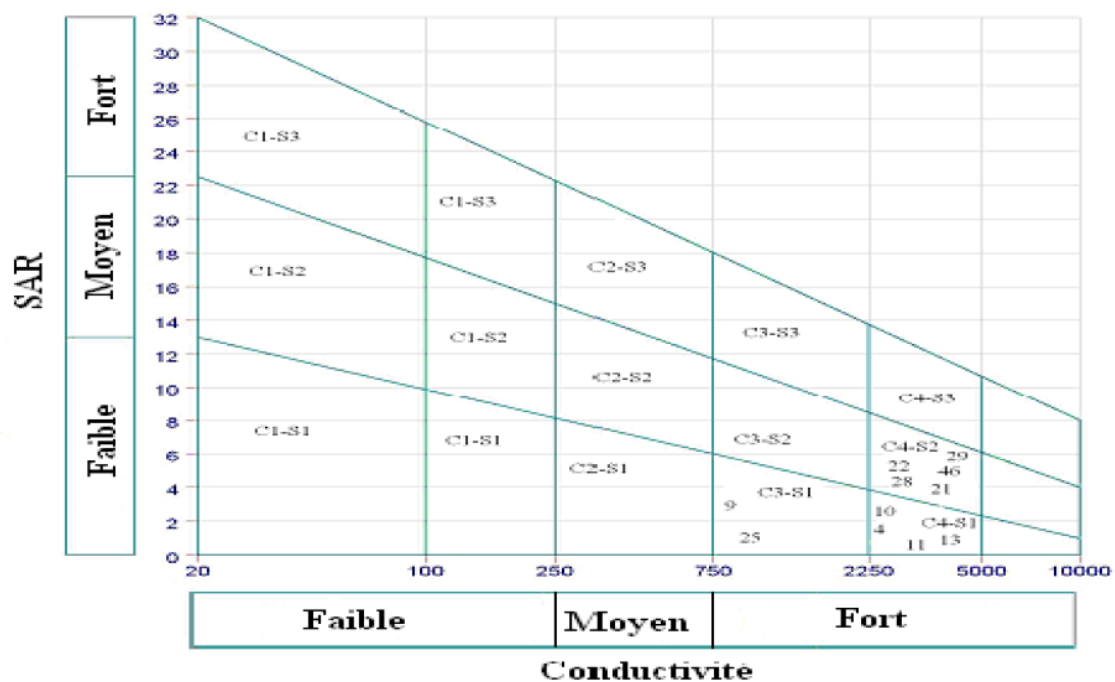


Figure 1: Diagramme pour la classification des eaux d'irrigation en fonction du SAR.

SAR : Rapport d'adsorption du sodium (méq/L). CE : Conductivité électrique à 25 °C ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Annexe 2 : Les méthodes d'analyses

Concerne toutes les méthodes utilisées pour la mesures de tous les paramètres.

Les eaux :

1. Le pH : DETERMINATION DU pH NF T 90 – 008 (Fevrier 2001)

Appareil : pH Mètre, thermomètre.

Principe :

Mesure du potentiel hydrogène existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (Calomel - KCl saturé) dans une même solution.

Etalonnage de du pH mètre

- Allumage de l'appareil;
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée;
- Prendre dans un petit bêché, la solution tampon pH = 7;
- Tremper l'électrode dans la solution tampon pH = 7 plus une agitation avec l'électrode;
- Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage du standard 2;
- Enlever l'électrode et le rincer abondamment avec l'eau distillée;
- Procéder de la même manière avec les solutions tampon pH = 9 où pH = 4 ;
- Rincer abondamment l'électrode avec l'eau distillée.

Mesure

- Prendre approximativement 100 ml de d'eau à analyser;
- Tremper l'électrode dans le bêcher;
- Laisser stabiliser un moment;
- Puis noter le pH et la température en même temps

2. La conductivité :

Principe :

Détermination directe à l'aide d'un instrument approprié de la conductivité électrique de solutions aqueuses. La conductivité électrique est une mesure du courant conduit par les ions

présents dans l'eau (phénomène conducteur du deuxième espèce et dépend de la concentration des ions, nature des ions, température et viscosité de la solution.

Appareillage :

Conductimètre.

Etalonnage du conductimètre :

- Allumer le Conductimètre;
- Rincer l'électrode avec l'eau distillée, aller au mode « cal »;
- Prendre dans un petit bécher, la solution standard de 1000 ou 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$;
- Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage de la valeur de la solution standard, quitter le mode « cal ».

Mesure :

- Opérer de la verrerie rigoureusement propre et rincée, avant usage, avec de l'eau distillé;
- Rincer plusieurs fois l'électrode, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner (eau usée ou eau épurée);
- Agitation du liquide (avec l'électrode) est nécessaire pour d'éliminer les bulles d'air;
- Le résultat est exprimé en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

3. Les matières en suspension :

Mesure de la matière en suspension (MES) Norme : NF- EN 872 méthode par filtration sur filtre en fibre de verre.

Appareillage

- Balance de précision électronique
- Filtre sous vide;
- Etuve.

Mode opératoire.

- Sécher les papiers filtres MES dans une étuve à $105 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à une masse constante, laisser refroidir en dessiccateur et peser à 0,1 mg près.
- Placer le filtre dans l'équipement de filtration et mettre en marche le dispositif d'aspiration.
- Verser progressivement l'échantillon sur le filtre jusqu'à ce que le dispositif soit vidé.

- Le volume vidé doit être d'au moins 100ml et permettant d'obtenir au moins une masse de 1mg par cm² de surface filtrante .Toutefois dans le cas ou celle ci peut ne pas être satisfaite le volume de l'échantillon doit être augmenté à au moins 500ml.
- Rincer le récipient ayant contenu l'échantillon avec 10ml environ d'eau distillée et faire passer les eaux de lavage sur le filtre.
- Laisser essorer et sécher le filtre à 105°C ± 2°C. Laisser refroidir en dessiccateur et peser à 0,1 mg près si le résidu est inférieur à 20 mg, ou à 0,5 près si le résidu est supérieur à 20mg. Recommencer les opérations de séchage, de refroidissement et de pesées jusqu'à ce que la différence entre deux pesées successives n'excède pas 0,1 ou 0,5mg.

Expression des résultats :

Le taux de matière en suspension (mg/l) = (M1-M0) *1000/V

V = le volume en millilitres d'échantillon mis en jeu (ce volume est déterminé soit à l'aide d'un récipient jaugé soit par pesée.

M0 = La masse en mg du disque filtrant avant utilisation.

M1 = La masse en mg du disque filtrant après utilisation.

Mesure de la matière en suspension (MES) norme NF T 90 105 – 2 détermination par centrifugation et séchage a 105°C ± 2°C.

Appareillage :

- Balance de précision électronique
- centrifugeuse
- Etuve.

Mode opératoire :

- Si cela est possible introduire la totalité de l'échantillon dans le pot de la centrifugeuse et centrifuger durant 20 mn ; le volume de cet échantillon doit être tel qu'il conduise à la pesée d'au moins 30 mg de matière en suspension .
- Si la totalité de l'échantillon ne peut trouver place dans le pot de la centrifugeuse, opérer en plusieurs fois en décantant après 20 mn de centrifugation le liquide surmontant le culot au fond du pot jusqu'à ce que tout l'échantillon ait été centrifugé.
- Décanter, remettre en suspension le culot dans de l'eau distillée (en remplissant le pot jusqu'au niveau initial) et centrifuger 20mn.

- Recueillir le culot déposé dans une capsule préalablement séchée et son contenu à $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ jusqu'à une masse constante refroidie dans un dessiccateur et pesée à 0,1mg près
- Rincer le pot de centrifugeuse deux fois avec chaque fois 20ml d'eau distillée et recueillir les eaux d'entraînement dans la capsule.
- Sécher ensuite la capsule et son contenu à $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Laisser refroidir dans un dessiccateur et peser à 0,5 mg près.
- Recommencer les opérations de séchage, de refroidissement et de pesée jusqu'à ce que la différence obtenue dans deux pesées successives n'excède pas 0,5mg.

Expression des résultats :

$$MES = (M1 - M0) * 1000 / V$$

V : Le volume en millilitre de la prise d'essai.

M0 : La masse en milligrammes de la capsule vide.

M1 : La masse en milligrammes de la capsule et de son contenu après séchage à 105°C .

Le taux de matière en suspension exprimé en mg/l est donné par l'expression :

4. Les matières volatiles en suspension :

Principe :

Volatilisation de la matière organique par la chaleur et l'obtention des matières minérales, est faire la différence par rapport au MES.

Appareillage :

- Four à moufle
- Dessiccateur en verre

Mode opératoire :

- Après la détermination des MES, on détermine pois sec en g (correspondant au poids de la capsule en porcelaine et des matières séchés qu'elle contient);
- Placer ensuite la capsule en porcelaine dans un four à 560°C pendant une durée de 02 heures;
- Après refroidissement dans un dessiccateur, la capsule, ne contenant plus que les cendres, est à nouveau pesée, c'est donc la matière minérale.

Expression des résultats :

$$MVS \text{ (g/l)} = MES \text{ (g/l)} - MM \text{ (g/l)}.$$

5. La demande biologique en oxygène : DBO5

Méthode de dilution NF EN 1899-1 :

Principe :

Les mesures sont réalisées à partir d'échantillons d'eau prélevés sur le terrain. Deux prélèvements sont nécessaires :

- le premier sert à la mesure de la concentration initiale en O₂.
- le second à la mesure de la concentration résiduaire en O₂ au bout de 5 jours.

La DBO5 est la différence entre ces deux concentrations. Les mesures seront effectuées sur un même volume et le second échantillon sera conservé 5 jours à l'obscurité et à 20°C.

Afin de mesurer la totalité de la demande biologique en oxygène, l'O₂ ne doit pas devenir un facteur limitant de l'activité microbienne. En effet une eau abandonnée à elle même dans un flacon fermé consommera rapidement l'oxygène dissous : il faut donc s'assurer au préalable que cet oxygène suffira largement à la consommation des micro-organismes. On utilise pour cela la méthode des dilutions, ou l'échantillon à doser est dilué dans une quantité d'eau telle qu'à l'issue de la mesure, le taux d'O₂ reste supérieur à 50% du taux initial.

Le choix du bon facteur de dilution n'est pas évident (il est réalisé au laboratoire d'analyses par tâtonnement à partir de la mesure de la DCO).

6. La demande chimique en oxygène :

Réactifs

- Sulfate de mercure cristallisé 0,5 g.
- Solution de sulfate de fer et d'ammonium 0,25 N.

Sulfate de Fer et d' NH_4	98 g.
Acide sulfurique (d=1,84)	20 ml.
Eau distillée	1000 ml.

- Solution de dichromate de potassium 0.25 N.

Dichromate de potassium (séché deux heures à 110°C)..... 12.2588 g

H₂O..... 1000 ml.

- Solution de Ferroïne 1.10

phénanthroline..... 1.485 g.

Sulfate de Fer..... 0.695 g.

H₂O..... 100 ml.

Etalon à 500 mg/l DCO.

Hydrogenophthalate de K HC₈H₅O₄ séché pendant 2 h.00 à 105°.

Peser 0,4251 g séché 1000 ml ou 0,1062 g/250 ml.

Appareillage et réactif :

- Appareil à reflux : il est constitué d'un tube, surmonté d'un réfrigérant;
- Bloc chauffant (annexe B, figure 27);
- Burette graduée;
- Un agitateur magnétique et un barreau magnétique.

Principe :

Une oxydation des matières organiques et inorganiques présentent dans l'eau par un excès de dichromate de potassium en milieu acide en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de Fer et d'ammonium.

Mode opératoire :

Dans un tube de DCO :

- 10 ml d'eau à analyser;
- 5 ml de K₂Cr₂O₇;
- Homogénéisé;
- Ajouter lentement et avec précaution 15ml d'acide sulfurique plus le sulfate d'argent;
- Agiter le tube soigneusement;
- Mettre le réfrigérant et porter à l'ébullition 02 heure à une température de 150°C.

Détermination de la DCO :

- Refroidissement, lavage des parois interne du réfrigérant à l'eau distillée;

- Sortir le réfrigérant, laisser refroidir;
- Compléter à 75 ml avec de l'eau distillée dans un bécher;
- Ajouter 1 à 2 gouttes d'indicateur coloré, ferroïne;
- Titrer l'excès de $K_2Cr_2O_7$ par la solution de sel de Mohr (virage bleu –vert au brun – rouge) noter V_{ECH} .

Essai à blanc :

- Introduit 10ml d'eau distillée dans le tube à essai ;
- Suivre le même protocole que pour l'essai, noter V_{Blanc} (ml).

Vérification du titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium

- Introduire 10ml de la solution de dichromate de potassium dans un bêcher;
- Ajouter 100ml de l'acide sulfurique 4 mol/l;
- Refroidissement;
- Suivre le même protocole du dosage pour la détermination de la DCO;
- Le titre de la solution de dichromate de potassium est obtenue par la formule, $T = 2,4 / V$.

Expression des résultats :

La demande chimique en oxygène, exprimé en mg d'O₂ /L est donnée par la formule suivante :

$$DCO = 8000 \times T (V_{BLANC} - V_{ECH}) / P_{D'ESSAI}$$

7. L'azote N.Kjeldahl:

NTK NF EN 25663 ISO 5663 Janvier 1994 Remplace la norme NF T 90-110 ISO 5663

Méthode par titrimétrie directe.

Produits chimiques :

- Acide sulfurique concentré 1,84.
- Mélange de Sélénium (Catalyseur de minéralisation).
- NaOH 10 N.
- Solution d'acide borique 20 g / l.
- Rouge de méthyle et de vert de bromocrésol dans l'éthanol.

Appareillage.

- Matériels courant de laboratoire.
- Ballons Kjeldahl de 500ml de capacité et une rampe de minéralisation.

- Appareils de distillation.
- Burette au 1/20.

Mode opératoire.

- Prise d'essai.

Prélever au moins une prise d'essai d'au moins 50ml de façon qu'elle contienne entre 0,2 et 20mg/l exprimé en N.

- Minéralisation.

- Introduire la prise d'essai de l'échantillon dans un ballon de Kjeldahl muni d'un dispositif régulateur d'ébullition (billes de verre).
- Introduire 1g de catalyseur.
- Ajouter 10ml d'acide sulfurique concentré (1,84).
- Placer un entonnoir sur le ballon avec la tige plongeant dans le col.
- Porter lentement à ébullition et évaporer jusqu'à apparition de fumée blanche, forcer ensuite le chauffage pendant au moins 2H, laisser refroidir à température ambiante.

Si la minéralisation est incomplète l'opération doit être recommencée en diminuant la prise d'essai.

- Distillation et Dosage:

- Transvaser dans l'appareil de distillation le contenu du ballon ainsi que les eaux de rinçage.
- Introduire 50ml d'hydroxide de sodium. Admettre la vapeur qui assure : l'entraînement de l'azote ammoniacal

Procéder au dosage de l'une des manières suivantes :

Recueillir un volume V du distillat dans un récipient contenant un volume V de la solution d'acide ascorbique. L'extrémité du tube allongé du réfrigérant plonge dans la solution.

Titrer en utilisant : **Selon NF T 90-110:**

- la solution titrée d'acide sulfurique 0,1 mole si la prise d'essai contient entre 2-20 mg/l exprimée en N.
- La solution titrée d'acide sulfurique 0,02 mole si la prise d'essai contient entre 0,2 – 2 mg/l exprimée en N.

Après modification dans le cadre de la norme NF EN 25663 ISO 5663

- l'acide cholrydrique (1,18) 0,02mole/l

- Essai à blanc : Effectuer un essai à blanc dans les mêmes conditions de minéralisation et de dosage que la prise d'essai

Expression des resultats

La teneur en azote Kjeldahl exprimée en milligramme de N par litre est donnée par la formule :

$$(V1-V2) c*1000*14/v$$

V1 : est le volume en ml d'acide sulfurique utilisé pour le dosage de l'échantillon.

V0 : est le volume en ml d'acide sulfurique utilisé pour le dosage de l'essai à blanc.

c : est la concentration en mole de $\frac{1}{2}$ H₂SO₄ par litre de la solution titrée d'acide sulfurique utilisé ou HCl pour le dosage.

V : est le volume en ml de la prise d'essai.

8. Détermination des nitreux NO₂ - et l'azote nitrique NO₃ - par analyse en flux continu (CFA)

Appareillage :

- Auto analyseur à flux continu;
- Echantillonneur automatique;
- Pompe à faible pulsation;
- Détecteur photométrique à flux, domaine de longueur d'onde de 540 nm;
- Un logiciel spécifique pour évaluer les hauteurs de pics;

Mode opératoire :

- Après allumage, plongé les différents tubes de pompe dans l'eau distillée;
- Mettre en marche la pompe pendant 15 mn;
- Mettre les différents tubes de pompes dans les réactifs de façon à ce que le flux à l'entrée du colorimètre soit constant avec un bullage régulier;
- On place la gamme d'étalonnage et les échantillons à analyser, démarré l'analyse, les résultats sont affichés au fur et à mesure sur l'écran en mg/l.

9. Détermination des phosphates (PO₄³⁻) ISO 6878/1-1986 (F)

Appareillage :

- Spectrophotomètre UV- Visible.

Mode opératoire :

- Prendre 40 ml de l'échantillon à analyser ;
- Ajouter 1 ml d'acide ascorbique ;
- Ajouter 2 ml du molybdate acide ;
- Attendre 30 mn.

Principe :

Les phosphates sont réduits par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu, la quantification est assurée par une lecture spectrométrique.

Réactifs :

- Heptamolybdate d'ammonium 13 g.
- Eau distillée..... 100 ml.
- Tartrate d'antimoine..... 0.35 g.
- Eau distillée 100 ml.
- Acide sulfurique pur 150 ml
- Eau distillée 150 ml.

Lecture des résultats :

- L'apparition de la coloration bleue indique la présence des PO_4^{-3} , on effectue la lecture à 880 nm;
- Le résultat est donné en mg/l.